

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

**«Всероссийский научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»**

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ИНСТИТУТА
ЗА 2017 ГОД**

Сборник научных трудов

Москва 2018

УДК 631.6
ББК 40.6

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНСТИТУТА ЗА 2017 ГОД. Сборник научных трудов — М.: ИЗД. ВНИИГиМ, 2018. – 375 с.

ISBN 978-5-9906859-3-2

В сборнике опубликованы результаты научно-исследовательских работ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», выполненные в рамках программы ФНИ РАН за 2017 год по направлениям:

- фундаментальные проблемы создания и эксплуатации оросительных и осушительных систем нового поколения, в том числе систем двустороннего регулирования влажности почвы в целях сохранения природно-ресурсного потенциала и производства высококачественной сельскохозяйственной продукции;

-актуальные проблемы создания новых конструкций гидротехнических сооружений для гидромелиоративных систем в целях повышения эффективности работы и модернизации мелиоративного комплекса.

Рассмотрен широкий спектр вопросов создания и эксплуатации мелиоративных систем нового поколения, устойчивости агроландшафтов и снижения антропогенной нагрузки на природные объекты. Предложены новые научные подходы и технические решения по восстановлению деградированных сельскохозяйственных земель и экономии водных ресурсов на основе экосистемного водопользования в АПК, разработаны модели для оптимизации водообеспечения и водопользования.

Представлены решения по мониторингу оросительных и осушительных систем, гидротехнических сооружений, водно-физических свойств почв, поверхностных водных объектов, обеспечивающие переход на современный технологический уровень управления мелиоративными системами нового поколения.

Сборник научных трудов предназначен для специалистов в области сельскохозяйственных мелиораций, водного хозяйства и природопользования.

Все доклады публикуются в авторской редакции в соответствии с заявленными требованиями.

Редакционный совет: д.с-х.н. В.А. Шевченко, д.т.н. Л.В. Кирейчева, д.т.н. С.Д. Исаева, д.т.н. И.Ф. Юрченко, к.т.н. А.О. Щербаков, к.т.н. Г.Х. Бедретдинов

УДК 631.6
ББК 40.6
ISBN 978-5-9906859-3-2

©ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2018
©Издательство ВНИИГиМ, 2018

УДК 631.67

ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ И УКЛАДКИ ДРЕНАЖА УЗКОТРАНШЕЙНЫМ СПОСОБОМ

Бедретдинов Г.Х.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Разработаны усовершенствованные технологии, обеспечивающие экономию материальных ресурсов и повышение темпов восстановления элементов осушительных систем. Проведена оптимизация технологий, обоснованы рациональные области применения и получены расчетные значения технико-экономических показателей при современном уровне цен.

Ключевые слова: КАНАЛЫ, ДРЕНАЖ, ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.

Программа развития АПК РФ на 2013-2020 годы предусматривает восстановление отрасли животноводства с доведением производства отечественного мяса и мясопродуктов до 88,9%; молока и молочных продуктов - до 85,3%. Выполнение поставленной задачи связано с созданием прочной кормовой базы.

Существенным резервом гарантированного получения продукции растениеводства для производства кормов являются мелиорированные земли. Однако отсутствие достаточных средств на эксплуатацию мелиоративных систем приводит к интенсификации процессов деградаций. В процессе эксплуатации без надлежащего ухода выходят из строя элементы водорегулирующих сетей, предельно заиливаются водосборные и отводящие трубопроводы закрытых дренажных систем, заиливаются и зарастают растительностью русла открытых каналов. В результате нарушается водный режим, повышается уровень грунтовых вод, ускоряются процессы заболачивания.

В таких условиях выполнение намеченной программы связано с восстановлением деградированных площадей, а возвращение их в сельскохозяйственный оборот требует совершенствования технологий восстановления элементов осушительных сетей.

На основе ранее проведенных исследований ВНИИГиМ предложены усовершенствованные способы, позволяющие выполнять очистку осушительных каналов с утилизацией растительности на приканальных территориях [1], укладывать дренаж узкотраншейным способом [2]. Предлагаемые способы позволяют снизить объемы и стоимости используемых материалов, утилизировать растительность без вывоза за пределы поля и обеспечивают возможность ресурсосбережения при проведении работ по восстановлению мелиоративных систем [3].

Цель исследований разработка на основе предложенных способов усовершенствованных технологий восстановления элементов мелиоративных систем.

Методика исследований предусматривает применение методов математического моделирования для оптимизации и сравнительной эффективности для оценки области применения усовершенствованных технологий.

Результаты и обсуждение. Для реализации нового способа [3] традиционную технологию очистки осушительных каналов боковой разработкой и укладкой наносов на две стороны предлагается заменить продольной разработкой с временных перемычек. Перемычки выполняются бульдозером, а после завершения работ на участке - ликвидируются экскаватором. Кустарниковая растительность в русле канала измельчается мульчером на базе экскаватора. Котлован выполняется с отдельным снятием вначале растительного слоя, а затем минерального грунта. Обратная засыпка поверхности котлована выполняется растительным грунтом после обезвоживания наносов.

Стоимость восстановления канала определяется как сумма стоимостей выполнения указанных операций:

$$C = C_p + C_{pc} + C_m + C_n + C_{np} + C_h + C_z,$$

Стоимости выполнения операций по восстановлению канала на участке длиной X (между перемычками) определяются по следующим выражениям.

Стоимость измельчения растительности мульчером:
$$C_p = \frac{e_m X 2 \sqrt{(mh)^2 + h^2}}{10000 P_m},$$

где e_m - стоимость машино-часа мульчера, руб./ч, X - расстояние между перемычками, м, m - коэффициент заложения откосов канала, h - глубина канала, м, P_m - эксплуатационная производительность мульчера, га/ч.

Стоимость снятия растительного слоя бульдозером:
$$C_{pc} = \frac{e_B b_k h_p X}{P_B},$$

где e_B - стоимость машино-часа бульдозера, руб./ч, b_k - ширина котлована, м, h_p - мощность растительного слоя, м, P_B - эксплуатационная производительность бульдозера, м³/ч.

Стоимость доработки котлована бульдозером с учетом объема укладываемых наносов:
$$C_m = \frac{X e_B (q - h_p b_r)}{P_B},$$
 где q - удельный объем наносов, м³/м.

Стоимость устройства перемычки бульдозером не зависит от величины X и определяется:
$$C_n = \frac{l(b + mh)h e_B}{P_B},$$
 где l - ширина перемычки, м, b - ширина канала по дну, м.

При объеме вынимаемых наносов $V_n = qX$, стоимость очистки русла экскаватором:
$$C_h = \frac{e_3 q X}{P_3},$$
 где e_3 - стоимость машино-часа экскаватора, руб./ч, P_3 - эксплуатационная производительность экскаватора, м³/ч.

В принятой технологии работа экскаватора на очистке русла чередуется с холостыми переездами машины с перемычки на перемычку. Переезд машины осуществляется на расстояние X , при этом время переезда $t_n = X : v$, где v - скорость экскаватора, м/ч. Тогда стоимость переезда:
$$C_{np} = (e_3 X) : v.$$

Стоимость обратной засыпки поверхности отвала бульдозером:

$$C_3 = \frac{e_B b_k h_p k_p X}{\Pi_B}, \text{ где } k_p - \text{коэффициент разрыхления растительного грунта.}$$

Удельная стоимость работ на восстановление 1 м канала: $C_y = C : qX$, или

$$C_y = \frac{e_m 2\sqrt{(mh)^2 + h^2}}{10000q\Pi_m} + \frac{e_B b_k h_p}{q\Pi_B} + \frac{e_B (q - h_p b_k)}{q\Pi_B} + \frac{l(b + mh)h e_B}{\Pi_B qX} + \frac{e_3}{\Pi_3} + \frac{e_3}{vq} + \frac{e_B b_k h_p k_p}{q\Pi_B}.$$

Анализ показывает, что удельная стоимость C_y восстановления зависит от параметров осушительного канала, технико-экономических показателей применяемых средств механизации и удельного объема наносов. При этом очевидны прямая пропорциональная зависимость стоимости от параметров канала и обратно пропорциональная зависимость от удельного объема наносов.

Проведенный анализ действующих нормативных документов и существующих исследований позволил получить зависимости производительности одноковшовых экскаваторов от удельного объема наносов. Для экскаваторов с вместимостью ковша $0,4 \text{ м}^3$ $\Pi_3 = 20 + 3,8 q$; а $0,65 \text{ м}^3$ - $\Pi_3 = 25 + 4,6 q$.

Полученная зависимость C_y положена в основу решения задачи оптимизации технологии.

Экономико-математическая модель для оценки эффективности технологии.

Целевая установка $C_y \Rightarrow \min$

Ограничения на входящие параметры:

$3,5 > h > 1,5$ (м) – характерные глубины осушительных каналов;

$5,0 > q > 0,5$ ($\text{м}^3/\text{м}$) – характерные величины заилений.

Ограничения величин заилений по каналам глубиной:

$1,5 \text{ м} - 1,0 > q > 0,5$; $2,0 \text{ м} - 1,5 > q > 0,5$; $2,5 \text{ м} - 2,0 > q > 0,5$ ($\text{м}^3/\text{м}$).

Постоянные параметры:

$t = 1$, $b = 0,4 \text{ м}$, $b_k = 6 \text{ м}$, $h_p = 0,25 \text{ м}$, $l = 6 \text{ м}$; $v = 500 \text{ м/ч}$, $k_p = 1,1$

e_m – при мощности $79 \text{ кВт}(108 \text{ л.с.}) = 1224 \text{ руб/ч}$; $103(140) = 1490 \text{ руб/ч}$;

e_6 – при мощности $79(108) = 879 \text{ руб/ч}$; $96(130) = 1068 \text{ руб/ч}$; $118(160) = 1313 \text{ руб/ч}$;

e_3 – при вместимости ковша $0,4 \text{ м}^3 = 981 \text{ руб/ч}$; $0,65 \text{ м}^3 = 1240 \text{ руб/ч}$;

Π_m – при мощности $79 \text{ кВт}(108 \text{ л.с.}) = 0,36 \text{ га/ч}$; $103(140) = 0,41 \text{ га/ч}$;

Π_B – при мощности $79(108) = 117 \text{ м}^3/\text{ч}$; $96(130) = 181 \text{ м}^3/\text{ч}$; $118(160) = 302 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Указанные постоянные стоимости эксплуатации машин приведены к современному уровню цен.

Проведенный анализ модели с раскрытием формулы эксплуатационной производительности одноковшового экскаватора, осуществляющего работу с чередованием очистки русла и переезда на следующую переемычку, получена зависимость для определения оптимального расстояния X_o между переемычками, обеспечивающая минимальную стоимость восстановления канала:

$$X_o = \sqrt{\frac{3600 q_k k_n e_3 v l (b + mh) h}{e_3 \Pi_B q k_p k_n}}.$$

Анализ полученного выражения показывает, что величина оптимального расстояния возрастает с повышением вместимости ковша, транспортной скорости экскаватора и снижается – с повышением удельного объема наносов.

Проведенные расчеты показывают, что величины оптимальных расстояний (табл. 1) не превышают максимальные значения, определяемые по предельному радиусу разработки наносов одноковшовыми экскаваторами. Разработку наносов в принятой технологии обеспечивает рабочее оборудование драглайн.

Таблица 1 - Расчетные оптимальные расстояния между перемычками при максимальном удельном объеме наносов

Оптимальные расстояния X_o , м					
Экскаватор с вместимостью 0,4 м ³			Экскаватор с вместимостью 0,65 м ³		
Глубина канала, м			Глубина канала, м		
1,5	2,0	2,5	1,5	2,0	2,5
Расчетные значения					
10,8	14,1	17,3	12,3	15,9	19,6
Округленные значения					
11	14	17	12	16	20

По округленным значениям оптимальных расстояний рассчитаны технико-экономические показатели предлагаемой технологии восстановления работоспособности каналов с ведущими экскаваторами вместимостью ковша 0,4 и 0,65 м³ (табл. 2). Сравнение технико-экономических показателей, позволило оценить эффективность восстановления каналов по предлагаемой технологии (табл. 3, 4).

Сравнение показывает (табл. 3), что экскаватор с вместимостью 0,4 м³ имеет преимущества по стоимости восстановления на каналах до 1,5 м, а экскаватор с вместимостью 0,65 м³ - при глубине каналов 2,0...2,5 м.

По сравнению с существующей технологией экономия затрат на восстановление различных типов каналов (табл. 4) составляет 298,4...3902,0 руб./га.

Процесс восстановления работоспособности горизонтального дренажа осушительных систем включает очистку дренажных труб и восстановление водоприемной способности дрен.

В настоящее время наличие диагностического оборудования для предварительной диагностики засоров существенно упрощает процесс восстановления работоспособности дренажа. Точное определение мест закупорок труб позволяет проводить адресное вскрытие дренажных линий, выполнить ликвидацию засоров, совмещать обратную засыпку с устройством водоприемных воронок и осуществлять последующее сопряжение их с дополнительными дренами или элементами осушительной сети.

Укладку дополнительных дрен на восстанавливаемых землях предлагается выполнять узкотраншейным способом [2]. Укладка дренажа выполняется по схеме (рис. 1), позволяющей выполнять дренажи и закрытые собиратели.

Таблица 2 - Технология восстановления работоспособности каналов, руб/100 м

№ № п.п	Наименование операций	Ведущая машина	Удельный объем работ	Производительность	Удельные затраты	Стоимость машино-часа	Себестоимость
1.	Удаление кустарниковой растительности с откосов, каналы глубиной, м 1,5 2,0 2,5	Мульчер на тракторе 78 кВт (108 л.с.),	0,042	0,1 (га/ч)	0,42	1224 (руб/ч)	514,1
			0,057		0,57		697,7
			0,071 (га)		0,71 (маш.ч)		869,0 (руб)
2.	Снятие растительного слоя с поверхности котлована	Бульдозер мощностью 78кВт (108 л.с.),	120 (м ³)	151 (м ³ /ч)	0,79 (маш.ч)	879 (руб/ч)	694,4 (руб)
3.	Устройство перемычек при X_0 . <u>Экскаватор 0,4 м³</u> - каналы глубиной, 1,5 2,0 2,5	Бульдозер мощностью 78кВт (108 л.с.)	158	151 (м ³ /ч)	1,05	879 (руб/ч)	905,4
			204		1,35		1195,4
			251		1,66		1494,3
	<u>Экскаватор 0,65 м³</u> - каналы глубиной, 1,5 2,0 2,5	Бульдозер мощностью 78кВт (108 л.с.)	139	151 (м ³ /ч)	0,92	879 (руб/ч)	826,3
			181		1,20		1046,0
			222		1,47 (маш.ч)		1265,8 (руб)
4.	Очистка русла канала	Экскаватор вместимость ковша, м ³ 0,40 0,65	100	23,8	4,2	981	4120,2
			(м ³)	29,6 (м ³ /ч)	3,4 (маш.ч)	1240 (руб/ч)	4216,0 (руб)
5.	Переезд экскаватора	Ковш, м ³ 0,40 0,65	100	3000	0,033	981	32,4
			(м)	(м/ч)	0.033 (маш.ч)	1240 (руб/ч)	40,9 (руб)
6.	Засыпка поверхности отвалов растительным грунтом	Бульдозер мощностью 78 кВт (108 л.с.),	132 (м ³)	151 (м ³ /ч)	0,87 (маш.ч)	879 (руб/ч)	764,7 (руб)

Таблица 3 - Сравнительные стоимостные показатели восстановления каналов

Стоимость восстановления каналов, руб. /100 м, (глубина каналов 1,5...2,5 м, ведущая машина одноковшовый экскаватор драглайн с вместимостью ковша 0,4 и 0,65 м ³).					
Предлагаемая технология					
Глубина 1,5 м		Глубина 2,0 м		Глубина 2,5 м	
0,4 м ³	0,65 м ³	0,4 м ³	0,65 м ³	0,4 м ³	0,65 м ³
7031,2	7056,4	7504,8	7459,7	7975,0	7850,8
Существующая технология					
10282,9	10337,9	10282,9	10337,9	10282,9	10337,9

Таблица 4 - Эффективность восстановления каналов по усовершенствованной технологии

Тип осушительного канала	Глубина канала, м	Ведущая машина экскаватор	Экономия затрат, руб./100 м	Удельная протяженность, м/га	Экономия затрат, руб./га
Постоянные осушители	1,0...1,7	0,4 м ³	3251,7	36...120	1170,6...3902,0
Постоянные собиратели	1,3...2,5	0,4 м ³ 0,65 м ³	3251,7 2487,1	36...120 36...120	1170,6...3902,0 895,3...2984,5
Нагорно-ловчие каналы	2,5...3,0	0,65 м ³	2487,1	12...36	298,4...895,3

Технология укладки дренажа совмещает отрывку траншеи, подачу дренажной трубы, устройство дренажной обсыпки и частичную обратную засыпку траншеи дреноукладчиком. Окончательная засыпка траншеи выполняется бульдозером.

Проведенное моделирование процесса укладки дренажа позволило получить зависимость для расчета оптимальной мощности N_o дреноукладчика:

$$N_o = \sqrt{\frac{850,0}{10,03ak}}, \text{ где } a - \text{ размерный коэффициент, учитывающий технологические потери времени, час/м дрены, } k - \text{ размерный коэффициент, учитывающий влияние мощности двигателя на скорость укладки дрены, м/кВт ч.}$$

По найденной зависимости N_o рассчитаны значения оптимальной мощности узкотраншейного дреноукладчика (табл. 5), выполняющего работы по схеме (рис. 1).

Полученные оптимальные значения мощности существенно зависят от грунтовых условий. При переходе с I на II категорию грунта оптимальная мощность дреноукладчика на укладке дрен повышается в 1,46 раза, а со II на III категорию при укладке закрытых собирателей – в 1,27 раза. Для выполнения работ

по укладке дрен в грунтах I категории мощность двигателя дреноукладчика может быть назначена по максимальному оптимальному значению 46,93 (63,8 л.с.), II категории - 68,76 (93,5 л.с.), при укладке закрытых собирателей в грунтах II категории - 69,35 (94,3 л.с.), III категории - 88,09 кВт (119,8 л.с.). Мощность двигателя универсальной машины может быть назначена по максимальной оптимальной мощности 88,09 кВт (119,8 л.с.).

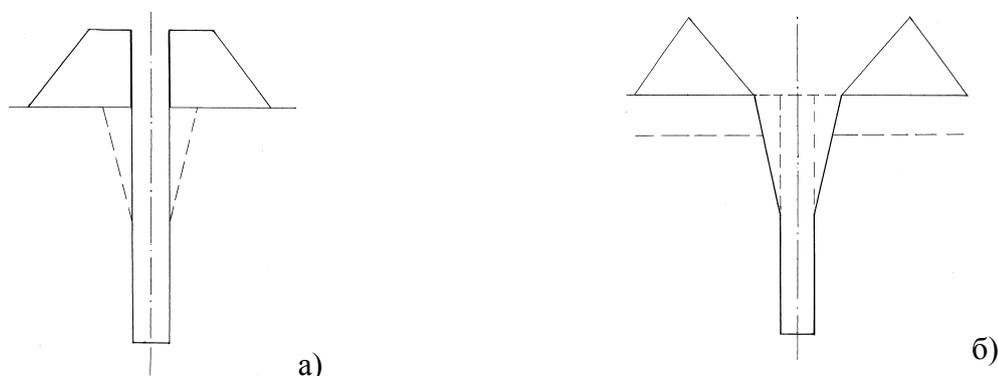


Рисунок 1 - Схемы укладки дренажа предлагаемым способом:
а – укладка дрен, б – укладка закрытых собирателей

Таблица 5 - Расчетные значения оптимальной мощности узкотраншейного дреноукладчика

Вид дренажа по типу питания, при коэффициенте a	Расчетные значения оптимальной мощности $N_o, кВт$		
	Категория грунта		
	I	II	III
$a=0,002$ дрены закр. собиратели	46,93 -	68,76 69,35	- 88,09
$a=0,003$ дрены закр. собиратели	38,32 -	56,15 56,63	- 71,93

Применение нового дреноукладчика обеспечивает минимальные объемы земляных работ, возможность учащения существующего дренажа и устройство дренажа верхнего яруса.

В результате исследований разработаны варианты технологий строительства дренажа узкотраншейным способом (табл. 6). Проведенный технико-экономический анализ позволил оценить эффективность предлагаемых технологий (табл. 7). При этом установлено, что повышение эффективности укладки дренажа может быть достигнуто за счет использования в качестве фильтрующей засыпки измельченной щепы, получаемой в процессе расчистки русел каналов и полей от кустарниковой растительности.

Таблица 6 - Технологии строительства дренажа узкотраншейным способом при восстановлении осушительных систем

№№ п.п.	Наименование операций	Ведущая машина	Удельный объем работ	Производительность	Удельные Затраты	Стоимость машино-часа	Себестоимость
1. Укладка дрен (на 100 м дрены)							
Затраты на материалы							
1. Дренажные трубы диаметром, мм				50			
Стоимость, руб/м				49,80;		4980 руб./100 м	
2. ПГС, руб/м				52,86;		5286 руб./100 м	
Стоимость ПГС 2000 руб./м ³							
1.	Планировка трассы дрены бульдозером	Бульдозер 79кВт 108 л.с.	40 (м ³)	125 (м ³ /ч)	0,32	1230	393,6
2.1.	Укладка дренажа без обсыпки	Дрено-укладчик мощностью 116,0 кВт (158 л.с.). Грунт 1 кат. II кат.	100 100	184 166	0,543 0.602	2017 2017	1089,18 1214,23
2.2.	Укладка дренажа с обсыпкой	Дрено-укладчик мощностью 116,0 кВт (158 л.с.). Грунт 1 кат. II кат	100 100	134 124	0,746 0,806	2017 2017	1504,68 1625,70
3.	Разравнивание грунта над дренаем бульдозером	Бульдозер ДЗ-42Г (ДТ-75)	9,3 (м ³)	83	0,112	1210	135,52
Итого:		Без обсыпки	грунты I кат.				6598,30
			II кат				6723,35
		С обсыпкой	грунты I кат.				12299,80
			II кат				12420,82
2. Укладка закрытых собирателей							
Затраты на материалы.							
1. Дренажные трубы диаметром, мм				50			
Стоимость, руб/м				49,80			
2. ПГС руб/м				76,0			
Щепа, руб/м				45,0			

3.	Планировка трассы дрен бульдозером	Бульдозер 79кВт 108 л.с.	40 (м ³)	125 (м ³ /ч)	0,32	1230	393,6
4.	Укладка дренажа дренажно-укладчиком мощностью 116,0 кВт (158 л.с.) Грунт II категории III категории	Дрено-укладчик новый	100 100	161 144	0,621 0,694	2017 2017	1252,56 1399,80
5.	Разравнивание грунта бульдозером	Бульдозер ДЗ-42Г (ДТ-75)	42 (м ³)	83	0,506	1210	612,26
Итого:		грунты II кат. грунты III кат					19344,42 19485,66

Таблица 7 - Стоимостные показатели восстановления осушаемых земель с укладкой дренажа диаметром 50 мм

Варианты технологий	Стоимость строительства дренажа узкотраншейным способом, руб/га, пластмассовые трубы диаметром 50 мм.				
	Торф низинный	Легкий суглинок	Средний суглинок	Тяжелый суглинок	Глина
Дрены без обсыпки	18870	25732	34960	-	-
Дрены с обсыпкой	35175	47966	64584	-	-
Собиратели	-	-	-	106392	165622
Существующая Дрены	45760	62400	84800	116600	184450
Экономия стоимостных затрат, руб/м	10585	14404	20216	10208	18828
Удельная себестоимость строительства 1 м дренажа, руб/м.					
Существующая	208	208	212	212	217
Предлагаемая	123	123	124	193	195
Экономия стоимостных затрат, руб/м	85	85	88	19	22

Выводы

1. Усовершенствованная технология обеспечивает повышение производительности труда, и снижение стоимости производства работ при восстановлении всех типов осушительных каналов. Установлено, что увеличение удельного объема наносов и повышение эффективности восстановления канала может быть достигнуто за счет измельчения растительности непосредственно в русле с последующим удалением измельченной массы вместе с наносами.

2. Технология восстановления и строительства дренажа узкотраншейным способом обеспечивает лучшие технико-экономические показатели по сравнению с траншейным способом в полном диапазоне грунтовых условий.

Список использованных источников:

1. Пат. 2405886 Российская Федерация, МПК (6) E 02 B 15/00. Способ очистки осушительного канала на участках с выпадающими закрытыми дренами. / Бедретдинов Г.Х., Голубев Н.К.; заявитель и патентооладатель ГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н.Костякова» (ГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н.Костякова»). – №2009129525/03; заявл.03.08.09; опубл.10.12.10, Бюл. №34. – С. 5 .

2. Пат. 2422586 Российская Федерация, МПК (6) E 02 B 11/00, E 02 F 5/10. Узкотраншейный способ строительства горизонтального дренажа и устройство для его осуществления / Бедретдинов Г.Х.; заявитель и патентооладатель ГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н.Костякова» Россельхозакадемии» (ГНУ «ВНИИГиМ Россельхозакадемии»). – №2009147926/21; заявл.24.12.09; опубл.27.06.11, Бюл. №18. – С. 6.

3. Бедретдинов, Г.Х. Методы ресурсосбережения при восстановлении мелиоративных систем /Г.Х.Бедретдинов// Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК. Материалы международной научно-практической конференции. – М: Изд. ВНИИГиМ, 2017 с 331-337.

УДК 631.67.

ТЕХНОЛОГИИ РАСЧИСТКИ ЗЕМЕЛЬ С УТИЛИЗАЦИЕЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ПОЧВЕ

Бедретдинов Г.Х.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Разработаны усовершенствованные технологии, обеспечивающие экономию материальных ресурсов, снижение нагрузки на почву, повышение темпов расчистки земель от кочек и кустарниковой растительности. Проведена оптимизация технологий, обоснованы рациональные области применения и получены расчетные значения технико-экономических показателей при современном уровне цен.

Ключевые слова: ПЛОЩАДИ ДЕГРАДАЦИЙ, КОЧКИ, КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ, ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ.

Сегодня существенным резервом гарантированного получения продукции для производства кормов являются не используемые, в том числе мелиорированные земли. При отсутствии эксплуатации, не используемые богарные и ранее осушенные земли, последовательно зарастают грубостебельчатой, кустарниково-древесно-кустарниковой растительностью. На переувлажненных землях ускоряются процессы образования кочек различных типов.

В таких условиях выполнение намеченной программы развития АПК РФ связано с восстановлением деградированных площадей, а возвращение их в сельскохозяйственный оборот требует совершенствования технологий проведения культуртехнических работ, в том числе расчистки земель от кустарниковой растительности и кочек.

На основе ранее проведенных исследований ВНИИГиМ предложен усовершенствованный метод, позволяющий распознавать и определять площади заросших земель [1,2]. Разработаны новые способы расчистки земель от кочек и кустарниковой растительности [3,4].

Предлагаемые способы позволяют проводить адресные работы, снизить нагрузку на почву, утилизировать растительность без вывоза за пределы поля и обеспечивают возможность ресурсосбережения при проведении работ по восстановлению мелиоративных систем [5].

Цель исследований разработка на основе предложенных способов усовершенствованных технологий расчистки закустаренных земель.

Методика исследований предусматривает применение методов математического моделирования для оптимизации и сравнительной эффективности для оценки области применения усовершенствованных технологий.

Результаты и обсуждение. Существующие многопроходные технологии расчистки земель от растительных кочек заменяются усовершенствованной комплексной технологией, разработанной на основе нового способа обработки за-кочкарных земель. Технология включает:

- фрезерование верхней растительной части с распределением измельченной массы между кочками;
- уплотнение нижней земляной части кочек вместе с измельченной массой;
- запашку уплотненной массы под почву;
- дискование пашни;
- прикатывание поверхности почвы.

Стоимость работ по усовершенствованной технологии канала определяется как сумма стоимостей указанных операций.

$$C = C_{\phi} + C_y + C_z + C_d + C_n .$$

Фрезерование верхней растительной части выполняется фрезерной машиной типа ФБН-2, при этом стоимость фрезерования $C_{\phi} = e_{\phi} : P_{\phi}$, где e_{ϕ} - стоимость машино-часа фрезерной машины, руб/ч, P_{ϕ} - эксплуатационная производительность машины, га/ч. Здесь эксплуатационная производительность машины может быть представлена в виде $P_{\phi} = k P_{\phi c}$, где $P_{\phi c}$ - средняя эксплуатационная производительность, k - коэффициент повышения производительности за счет фрезерования верхней части кочки. Средняя

производительность определяется по существующим ведомственным нормативным документам. Значение повышающего коэффициента определяется по соотношению удельных сопротивлений резанию нижнего и верхнего слоев кочки $k = 3,85:3,07 = 1,26$ (по А.И. Аржаных и Ю.А. Тагину).

Уплотнение нижней части кочек выполняется водоналивными катками. Особенность процесса уплотнения здесь связана с наличием свободных поверхностей по периметру не обработанной части кочек. В таких условиях процесс уплотнения сопровождается сдвигом грунта в направлении свободных поверхностей, что облегчает процесс уплотнения. Необходимая величина уплотнения определяется $h_y = H_{cp} - h_o - 0,15$, где H_{cp} - средняя высота кочек, м, h_o - глубина обработки за один проход фрезы, м, $0,15$ - максимальная высота, позволяющая проводить прямую запашку без предварительного измельчения кочек. При глубине обработки за один проход $h_o = 0,25$ м и средней высоте кочек $H_{cp} = 0,5...0,7$ м величина уплотнения нижней части по высоте составляет $0,1...0,3$ м. При таких условиях масса прицепного катка должна быть в пределах $6...11$ т. Стоимость доработки определяется $C_y = n (e_y : P_y)$, где e_y - стоимость машино-часа катка, руб/ч, P_y - эксплуатационная производительность доработки, га/ч, n - число проходов машины. Аналогичным образом определяются остальные составляющие $C_z = e_z : P_z$, $C_d = e_d : P_d$, $C_n = e_n : P_n$, где e_z e_d e_n - стоимости машино-часа, руб/ч, P_z P_d P_n - эксплуатационные производительности машин соответственно при запашке кочковой массы, дисковании пашни и прикатывании поверхности поля.

В зависимости от средней высоты кочек возможны следующие варианты комплексной технологии.

При высоте кочек до $0,15$ м не требуется измельчение кочковой массы, тогда математическое выражение удельной стоимости работ на 1 га расчищаемой площади:

$$C = \frac{e_z}{P_z} + \frac{\kappa e_d}{P_d} + \frac{e_n}{P_n}, \text{ где } \kappa - \text{ количество проходов дисковой бороны.}$$

При средней высоте кочек выше $0,15$ м до $0,4$ м проводится фрезерование растительной части и последующая запашка измельченной массы вместе с необработанной частью кочек. Для данного варианта технологии выражение удельной стоимости работ:

$$C = \frac{e_\phi}{\kappa P_\phi} + \frac{e_z}{P_z} + \frac{\kappa e_d}{P_d} + \frac{e_n}{P_n}.$$

При средней высоте кочек выше $0,4$ м к операциям по фрезерованию и запашке добавляется доработка нижней части кочек. Данная операция выполняется ребристым водоналивным катком. Выражение для определения удельной стоимости работ для данного варианта технологии:

$$C = \frac{e_\phi}{\kappa P_\phi} + \frac{\kappa_\kappa e_\kappa}{P_\kappa} + \frac{e_z}{P_z} + \frac{\kappa e_d}{P_d} + \frac{e_n}{P_n}.$$

Наряду с существующим многопроходным фрезерованием, альтернативой предлагаемой комплексной технологии, является расчистка заочкаренных земель ребристыми водоналивными катками. По данной технологии расчистка земель выполняется многократными проходами по поверхности поля. При работе машины в результате механического воздействия поверхности катка совмещаются операции пригибания и разрезания кочек на отрезки. Несмотря на многопроходность данная технология совмещает расчистку земель с обработкой почвы.

Выражение удельных затрат для варианта расчистки земель ребристыми катками.

$$C = \frac{\kappa_k e_k}{\Pi_k}, \text{ где } \kappa_k - \text{ количество проходов ребристого катка.}$$

Полученные выражения удельных стоимостей составляют основу решаемой задачи оптимизации технологий. Целью решаемой задачи является нахождение областей рационального применения технологий, обеспечивающих минимальные стоимостные показатели производства работ по расчистке заочкаренных земель.

Экономико-математическая модель технологии.

Целевая установка $C_y \Rightarrow \min$

Ограничения на входящие параметры:

Количество проходов в зависимости от высоты кочек и заочкаренности:

- не более 6.

Постоянные параметры:

Фрезерование – фреза типа ФБН-2 к трактору 79кВт(108л.с.), $e_f = 1266$ руб/ч, $\Pi_f = 0,543$ га/ч, $k = 1,26$ – для фрезерования верхней части кочек.

Доработка кочек ребристыми катками - каток к трактору 96 кВт (130 л.с.), $e_k = 1320$ руб/ч, $\Pi_k = 0,73$ га/ч. *Количество проходов при высоте кочек 55,65,75 см соответственно 1,2,3.*

Запашка измельченной массы – плуги типа 2х ПБН-75 к трактору 79кВт(108л.с.), $e_d = 1051$ руб/ч, $\Pi_d = 0,71$ га/ч.

Дискование пашни – дисковая борона типа БДТ-3 с трактором 79кВт(108л.с.), $e_\delta = 905$ руб/ч, $\Pi_\delta = 0,83$ га/ч.

Прикатывание почвы – каток типа ЗКВБ-1,5 с трактором 79 кВт (108л.с.), $e_n = 905$ руб/ч, $\Pi_n = 1,36$ га/ч.

Значения экономических показателей приведены к современному уровню цен.

Выявленные зависимости и параметры: *Обработка кочек ребристым катком.* При числе проходов $\kappa_k = 1,2,3$; стоимость соответственно равна 1808; 3616; 5424 (руб/га).

По разработанным моделям рассчитаны технологические показатели расчистки заочкаренных земель (табл. 1), и получены зависимости стоимости работ от средней высоты кочек и заочкаренности восстанавливаемой площади (рис. 1).

Таблица 1 - Технологии расчистки заочкаренных земель

№ № п.п.	Наименование операций	Ведущая машина	Удельный объем работ	Производительность	Удельные Затраты	Стоимость машино-часа	Себестоимость
Существующая технология.							
1.	Фрезерование кочек за: 3 прохода 4 прохода 5 проходов	Фреза типа ФБН-2 к трактору 79 кВт (108 л.с.),	1 (га)	0,45 (га/ч)	6,67 8,89 11,11 (маш.ч)	1266 (руб/ч)	8444,2 11254,7 14065,3 (руб)
2.	Запашка измельченной массы под почву	Плуг типа 2х ПБН-75 к трактору 79 кВт (108 л.с.),	1 (га)	0,71 (га/ч)	1,4 (маш.ч)	1051 (руб/ч)	1471,4 (руб)
3.	Дискование пашни	Дисковая борона типа БДТ-3 к трактору 79 кВт (108 л.с.),	1 (га)	0,83 (га/ч)	1,2 (маш.ч)	905 (руб/ч)	1086,0 (руб)
4.	Прикатывание поверхности почвы	Каток типа ЗКВБ-1,5 к трактору 79 кВт (108 л.с.),	1 (га)	1,36 (га/ч)	0,74 (маш.ч)	905 (руб/ч)	669,7 (руб)
Итого:							
при количестве проходов		3				11671,3 (руб)	
		4				14481,8 (руб)	
		5				17297,4 (руб)	
Предлагаемая технология.							
1.	Фрезерование растительной части кочек за 1 проход	Фреза типа ФБН-2 к трактору 79кВт (108 л.с.),	1 (га)	0,54 (га/ч)	1,85 (маш.ч)	1266 (руб/ч)	2342,1 (руб)
2.	Уплотнение земляной части кочек до высоты 15 см за 1 проход 2 прохода 3 прохода	Каток ребристый к трактору 96 кВт (130 л.с.),	1 (га)	0,73 (га/ч)	1,37 2,74 4,11 (маш.ч)	1320 (руб/ч)	1808,4 3616,8 5425,2 (руб)

3.	Запашка измельченной массы под почву	Плуг типа 2х ПБН-75 к трактору 79кВт (108 л.с.),	1 (га)	0,71 (га/ч)	1,4 (маш.ч)	1051 (руб/ч)	1471,4 (руб)
4.	Дискование пашни	Дисковая борона типа БДТ-3 к трактору 79кВт (108 л.с.),	1 (га)	0,83 (га/ч)	1,2 (маш.ч)	905 (руб/ч)	1086,0 (руб)
5.	Прикатывание поверхности почвы	Каток типа ЗКВБ-1,5 к трактору 79кВт (108 л.с.),	1 (га)	1,36 (га/ч)	0,74 (маш.ч)	905 (руб/ч)	669,7 (руб)
Итого:							
при количестве проходов катка 1							7376,7 (руб)
2							9216,0 (руб)
3							11024,4 (руб)

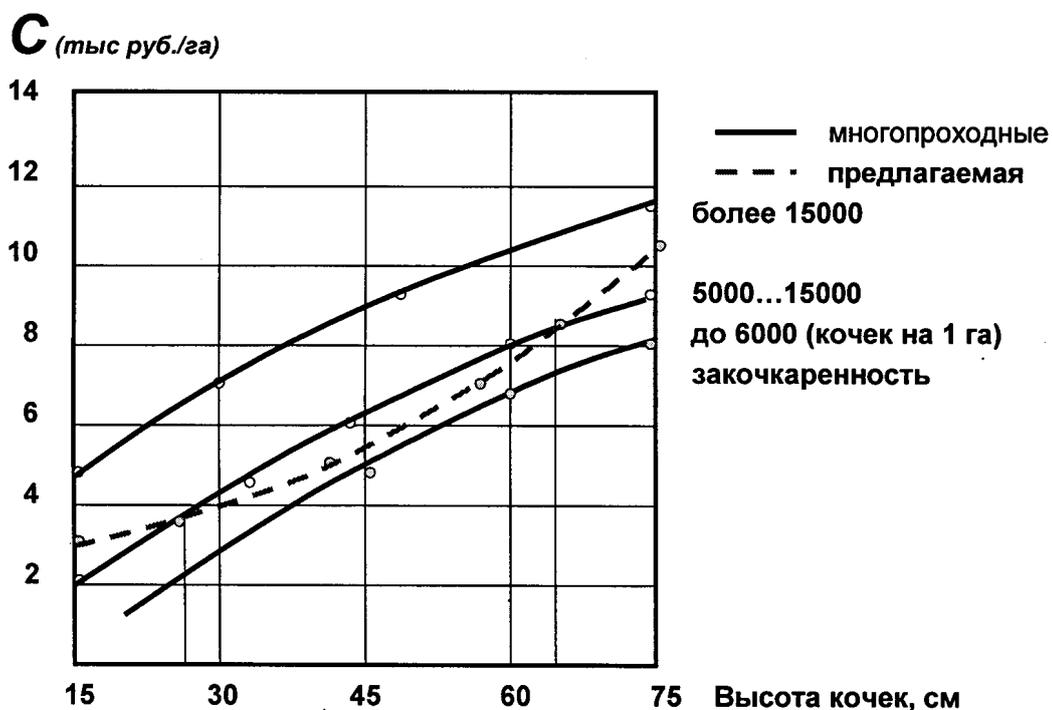


Рисунок 1 - Зависимости стоимостных показателей расчистки земель от средней высоты кочек и закочкаренности поля

Анализ зависимостей (рис. 1), показывает, что существующая технология обеспечивает минимальные стоимостные затраты при фрезеровании полей с количеством кочек до 6 тыс. на 1 га, где расчистка осуществляется за 1...3 прохода фрезерной машины.

Предлагаемая технология обеспечивает минимальные стоимостные затраты при расчистке полей с количеством кочек выше 5 тыс. шт. на 1 га, где расчистка по существующей технологии выполняется за 4...6 проходов фрезерной машины. Расчеты показывают, что в зоне эффективной работы, сокращение стоимостных затрат при расчистке закоряченных земель по предлагаемой технологии составляет 4,2 ...6,2 тыс. руб. на 1 га.

Существующие отдельные технологии расчистки земель от древесно-кустарниковой растительности заменяются усовершенствованными технологиями, совмещающими операции по срезке, измельчению растительности и заделке древесных остатков под почву.

В зависимости от степени измельчения древесины рассмотрены следующие варианты технологий.

Первый вариант - срезка растительности тяжелой дисковой бороной, измельчение срезанной растительности измельчителем, заделка измельченной массы под почву дисковой бороной.

Второй вариант – срезка растительности модернизированной тяжелой дисковой бороной, заделка растительных остатков под почву дисковой бороной.

Третий вариант – обработка наземной части растительности мульчером и обработка почвы на глубину до 25 см мульчером роторатором.

Для интенсификации процесса разложения растительности в почве все варианты технологии предусматривают внесение азотных удобрений из расчета 3...10 кг на 1 т массы древесины.

Стоимость работ по первому варианту технологии определяется как сумма стоимостей указанных операций:

$C_1 = C_{\delta} + C_u + C_z + C_a$, где C_{δ} – стоимость срезки растительности тяжелой дисковой бороной, C_u – стоимость измельчения древесины, C_z – стоимость заделки древесины в почву, C_a – стоимость азотных удобрений и внесения их в почву.

Стоимость работ по второму варианту технологии:

$$C_2 = C_{\delta} + C_z + C_a$$

Стоимость работ по третьему варианту технологии:

$C_3 = C_m + C_{mp} + C_a$, где C_m – стоимость измельчения растительности мульчером, C_{mp} стоимость обработки почвы мульчером роторатором.

Удельные стоимостные показатели в расчете на 1 га заросшего участка: при обработке дисковой бороной $C_{\delta} = e_{\delta} : P_{\delta}$; измельчителя - $C_u = e_u : P_u$; разбрасывателя удобрений - $C_a = e_a : P_a$; мульчера – $C_m = e_m : P_m$, где e – стоимости машино-часа, P – эксплуатационные производительности машин (индексы соответствуют указанным машинам).

Стоимость удобрений в расчете на 1 га $C_{y\delta} = C_y H P_a$, где C_y – цена азотных удобрений руб/ кг , H – норма внесения удобрений на 1т массы древесины, кг/т, P_a – масса древесины, т/га.

Эксплуатационная производительность определяется по рабочей скорости V машин и ширине захвата b рабочего органа $P_s = 10000 : (V b)$. Объем работ по измельчению древесины в 1 варианте технологии определяется по массе древесины на 1 га площади участка P_a (т/га).

С учетом отмеченных выше входящих параметров выражения удельной стоимости

- для 1 варианта технологии:

$$C_1 = \frac{10000e_{\delta}}{V_1 b k_{и}} + \frac{P_a e_u}{\rho P_u} + \frac{10000e_{\delta}}{V_3 b k_{и}} + \frac{e_a}{P_a} + C_y H P_a, \text{ где } \rho - \text{удельный вес}$$

древесины, т/м³, V_3 - рабочая скорость бороны при заделке древесных остатков, м/ч, e_a – стоимость машино-часа разбрасывателя удобрений, руб/ч, P_a – эксплуатационная производительность разбрасывателя, га/ч, P_u – эксплуатационная производительность измельчителя, м³/ч, $k_{и}$ – коэффициент использования часового времени машины;

- для 2 варианта технологии:

$$C_2 = \frac{10000e_{\delta}}{V_1 b k_{и}} + \frac{10000e_{\delta}}{V_2 b k_{и}} + \frac{e_a}{P_a} + C_y H P_a, \text{ где } V_1 - \text{рабочая скорость бороны}$$

при первом проходе, м/ч, V_2 - рабочая скорость бороны при втором проходе, м/ч;

- для 3 варианта технологии:

$$C_3 = \frac{10000e_m}{V_m b_m k_{и}} + \frac{10000e_{mp}}{V_{mp} b_{mp} k_{и}} + \frac{e_a}{P_a} + C_y H P_a, \text{ где } V_m - \text{рабочая скорость}$$

мульчера, м/ч, V_{mp} - рабочая скорость мульчера роторатора, м/ч, b_m – ширина рабочего органа мульчера, м, b_{mp} – ширина рабочего органа мульчера роторатора, м.

Полученные выражения удельных стоимостей составляют основу решаемой задачи оптимизации технологий. Решение поставленной задачи выполняется с учетом снижения срока освоения площади за счет более интенсивного перегнивания измельченной растительности.

В общем виде решение задачи сводится к сравнению дополнительных затрат на измельчение растительности в щепу с эффектом, получаемым за счет более интенсивного разложения древесины в почве и снижения за счет этого срока ввода земель в эксплуатацию. В качестве базовой технологии принимается второй вариант, обеспечивающий измельчение древесины на отрезки 20...30 см и последующую заделку их в почву.

Эффект за счет снижения срока ввода земель определяется $\mathcal{E}_z = n U_n C_n$, где: n - срок сокращения ввода земель (количество целочисленных календарных лет 1,2 и т. д.), U_n – урожайность получаемой продукции, C_n – себестоимость получаемой продукции.

С учетом полученных значений выражение для оценки 1 варианта технологии $C_I = C_1 - C_2 = \mathcal{E}_z$, или:

$$C_I = \frac{P_a e_u}{\rho \Pi_u} + \frac{10000 e_{\bar{o}}}{V_3 b k_{и}} - \frac{10000 e_{\bar{o}}}{V_2 b k_{и}} = n Y_n C_n$$

Для оценки 3 варианта технологии $C_{III} = C_3 - C_2 = \Delta_2$, или:

$$C_{III} = \frac{10000 e_{\bar{o}}}{V_m b_m k_{и}} + \frac{10000 e_{mp}}{V_{mp} b_{mp} k_{и}} - \frac{10000 e_{\bar{o}}}{V_1 b k_{и}} - \frac{10000 e_{\bar{o}}}{V_2 b k_{и}} = n Y_n C_n$$

В полученных зависимостях приняты следующие ограничения:

- масса древесины на участке $80 \geq P_a \geq 10$ (т/га);
- снижение сроков освоения участка $2 \geq n \geq 1$ (годы).
- норма внесения азотных удобрений $10 \geq H \geq 3,3$ (кг/т древесины)

Используемые зависимости:

- рабочие скорости бороны V_3 и мульчера $V_m = (0,8 \dots 0,9) V_{max}$, где V_{max} - максимальная рабочая скорость, м/ч.

Принятые постоянные параметры: $e_u = 985$ руб/ч, $\rho = 0,8$ т/м³; $\Pi_u = 6$ м³/ч; $e_{\bar{o}} = 1380$ руб/ч; $V_1 = V_2 = 4320$ м/ч (хронометраж); $b = 2,5$ м; $k_{и} = 0,75$; $V_3 = 5120$ м/ч; $Y_n =$ в первый год освоения 10, второй год - 12 (ц/га по селу); $C_n = 3,8 \dots 4,0$ тыс. руб/т (по селу, статистические данные); $C_y = 10 \dots 15$ руб/кг (усредненные данные интернет); $e_a = 1130$ руб/ч; $\Pi_a = 10,5$ га/ч (разбрасыватель МВУ-5 с трактором МТЗ-80). $V_{mp} = 2000$ м/ч; $b_m = b_{mp} = 2,0$ м; $e_m = e_{mp} = 1490$ руб/ч. Значения экономических показателей приведены к современному уровню цен.

По разработанным моделям рассчитаны технологические показатели расчистки закоряченных земель (табл. 2), и получены зависимости стоимости работ и дополнительной прибыли за счет измельчения кустарниковой растительности (табл. 3).

Таблица 2 - Варианты технологий восстановления закоряченных земель

№№ п.п.	Наименование операций	Ведущая машина	Удельный объем работ	Производительность	Удельные затраты	Стоимость машино-часа	Себестоимость
С измельчением древесины							
1.	Срезка растительности	Тяжелая дисковая борона типа БМН-2,5 к трактору 96 кВт (130 л.с.),	1 (га)	0,81 (га/ч)	1,23	1380 (маш.ч)	1697,4 (руб)
2.	Измельчение кустарниковой растительности	Измельчитель ДОП-1 (МТЗ-82)	20 40 60 80 100 (м ³ /га)	6 (м ³ /ч)	3,33 6,67 10,00 13,33 16,67 (маш.ч)	985 (руб/ч)	3280,0 6659,9 9850,0 13130,0 16419,9 (руб)

3.	Заделка измельченной массы под почву	Дисковая борона типа БДТ-3 к трактору 79кВт (108л.с.),	1 (га)	0,83 (га/ч)	1,2 (маш.ч)	905 (руб/ч)	1086,0 (руб)
4.	Внесение азотных удобрений	Разбрасыватель МВУ-5 к трактору МТЗ-82	1 (га)	10,5 (га/ч)	0,09 (маш.ч)	1130 (руб/ч)	101,7 (руб)
5.	Прикатывание поверхности почвы	Каток типа ЗКВБ-1,5 к трактору 79кВт (108л.с.),	1 (га)	1,36 (га/ч)	0,74 (маш.ч)	905 (руб/ч)	669,7 (руб)
Итого при объеме древесины (м ³ /га) (без учета стоимости удобрений)			20			6834,8 (руб)	
			40			10214,7 (руб)	
			60			13404,8 (руб)	
			80			16684,8 (руб)	
			100			19974,7 (руб)	
С разрезанием на отрезки и заделкой в почву							
1.	Срезка растительности и тяжелой бороной с пригибающим устройством	Тяжелая дисковая борона типа БМН-2,5 к трактору 96 кВт (130 л.с.)	1 (га)	0,61 (га/ч)	1,64	1490 (маш.ч)	2443,6 (руб)
2.	Заделка измельченной массы под почву	Тяжелая дисковая борона типа БМН-2,5 к трактору 96 кВт (130 л.с.)	1 (га)	0,76 (га/ч)	1,32	1490 (маш.ч)	1966,8 (руб)
3.	Боронование поверхности почвы	Дисковая борона типа БДТ-3 к трактору 79кВт (108л.с.),	1 (га)	0,83 (га/ч)	1,2 (маш.ч)	905 (руб/ч)	1086,0 (руб)
4.	Внесение азотных удобрений	Разбрасыватель МВУ-5 к трактору МТЗ-82	1 (га)	10,5 (га/ч)	0,09 (маш.ч)	1130 (руб/ч)	101,7 (руб)
5.	Прикатывание поверхности почвы	Каток типа ЗКВБ-1,5 к трактору 79кВт (108л.с.),	1 (га)	1,36 (га/ч)	0,74 (маш.ч)	905 (руб/ч)	669,7 (руб)
Итого: без учета стоимости удобрений						6267,8 (руб)	

Сравнение показывает (табл. 4), что минимальные удельные затраты обеспечивает двухпроходная технология с применением модернизированной тяжелой дисковой бороны с пригибающим устройством. Дополнительные затраты по измельчению древесины на щепу окупаются за счет получения дополнительной

продукции (по селу) при снижении срока разложения измельченных остатков в почве не менее двух лет. Технология с измельчением и заделкой щепы в почву обеспечивает минимальные затраты при снижении срока разложения древесины на два года и массе древостоя на участке до 43 т/га. Мульчерная технология обеспечивает минимальные затраты при снижении срока разложения древесины на два года и массе древостоя до 80 т/га.

Таблица 3 - Удельные стоимостные показатели вариантов технологий расчистки закустаренных земель и дополнительной продукции

Вариант технологии	Удельные стоимостные показатели, руб/га при массе древостоя, т/га							
	10	20	30	40	50	60	70	80
1.	5597	8119	10810	13667	16712	19927	23307	26864
2.	3813	4283	4922	5737	6720	7879	9211	10716
3.	10339	10809	11448	12263	13264	14405	15737	17242
С учетом снижения срока разложения древесины в почве.								
Доп. затраты, сравнение 1 и 2 вариантов	1785	3837	5289	7941	9993	13045	14097	16149
Доп. затраты, Сравнение 3 и 2 вариантов	6526							
Доход за счет доп. продукции (по селу)	- за первый год			3900 (урожайность 10 ц/га)				
	- за второй год			4600 (урожайность 12 ц/га)				
	- суммарный за два года			8580 (себестоимость сена 3900 руб/т)				

Таблица 4 - Сравнительные стоимостные показатели расчистки закустаренных земель

Заростность участка, (объем древесины)	Существующая технология, руб/га, по ФЕР-2001		Предлагаемые варианты технологий, руб/га.		Экономия стоимостных затрат, тыс.руб./га
	без утилизации древесины	с утилизацией сжиганием	с измельчением в щепу	с измельчением на отрезки	
1. Редкая (50 м ³ /га)	15721,6	25003,7	11809,7	6267,8	13,2 (5,5)*
2. Средняя (100 м ³ /га)	20172,2	36571,6	19974,7	6267,8	16,6 13,7)*

*- в скобках экономия по предлагаемым вариантам технологий

Экономия стоимости при сравнении с существующей технологией составляет 13, 2...16,6 тыс. руб./га; при сравнении с вариантом предлагаемой технологии - 5,5...13,7 тыс. руб/га.

Выводы

1. Разработанная комбинированная технология обеспечивает наилучшие технико-экономические показатели расчистки закоряченных земель в условиях, где по существующей технологии расчистка выполняется за более чем за 3 прохода фрезерной машины.

2. Усовершенствованные технологии расчистки закоряченных земель с утилизации растительности в почве эффективны при зарастании земель кустарниковой растительностью с объемами древесины до 100 м³/га. Повышение эффективности технологий может обеспечиваться за счет степени измельчения и сокращения срока разложения древесины в почве. Установлено, что снижение срока разложения древесины на два года обеспечивает наилучшие технико-экономические показатели и делает перспективными мульчерные технологии.

Список использованных источников

1. Бедретдинов, Г.Х., Определение объемов культуртехнических работ на деградированных землях фрактальным методом/ Г.Х.Бедретдинов, И.В.Цветков, А.Н.Насонов, И.М.Жогин // В сборнике: Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения материалы международной научно-практической конференции. 2016. С. 7-11.

2. Цветков И.В. Оценка площадей деградаций по аэрокосмическим снимкам фрактальным методом / И.В.Цветков, А.Н.Насонов, Г.Х.Бедретдинов, И.М.Жогин// Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК. Материалы международной научно-практической конференции. – М: Изд. ВНИИГиМ, 2017, с. 375-379.

3. Пат. 2523292 Российская Федерация, МПК (6) А 01 В 23/06, А 01 В 79/00, А 01 В 43/00. Способ обработки закоряченных земель. / Бедретдинов Г.Х., Першина О.Ф.; заявитель и патентооладатель ГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н.Костякова» (ГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н.Костякова»). – №2013106197/13; заявл.14.02.13; опубл. 20.07.14, Бюл. №20. – С. 4 .

4. Пат. 2247490 Российская Федерация, МПК (7) А 01 G 23/06 А 01 В 79/00. Способ освоения закоряченных земель и устройство для его осуществления. / Маммаев З.М., Бедретдинов Г.Х., Першина О.Ф., Камиллов К.К.; заявитель и патентооладатель ГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н.Костякова» (ГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н.Костякова»). – №2003117778/12; заявл.18.06.03; опубл. 10.03.05, Бюл. №7. – С. 6 .

5.Бедретдинов, Г.Х. Методы ресурсосбережения при восстановлении мелиоративных систем /Г.Х.Бедретдинов// Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК. Материалы международной научно-практической конференции. – М: Изд. ВНИИГиМ, 2017, с. 331-337.

ТЕХНОЛОГИЯ СОКРАЩЕНИЯ ОБЪЁМОВ МИНЕРАЛИЗОВАННОГО ДРЕНАЖНОГО СТОКА СПОСОБОМ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОГО ИСПАРЕНИЯ

Бородычев В.В., Конторович И.И.

ВФ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Россия

Дренажный сток (ДС), являясь нецелевым продуктом жизнедеятельности гидромелиоративных систем (ГМС) в аридной зоне, может вызывать загрязнение и деградацию различных природных и техноприродных объектов. Испарение дренажных вод с исходной минерализацией 10–70 г/л, рассматривается как последняя стадия технологического процесса их утилизации, в общем случае направленного на максимально возможное использование полезных свойств объекта утилизации при ограниченных экономических возможностей общества.

Разработка новой технологии сокращения объемов минерализованного дренажного стока обусловлена необходимостью совершенствования конструкций ГМС нового поколения за счет повышения эффективности и экологической безопасности процесса утилизации дренажных вод.

Рабочая гипотеза исследований: разработка новой технологии интенсифицированного испарения минерализованного дренажного стока, обеспечит:

а) распределение элементов технологического процесса в определенном порядке и последовательности, образующего систему, удобную для их эффективного функционирования;

б) повышение эффективности технологического процесса в результате исключения или снижения до допустимого уровня основных недостатков [1], применяемых ранее традиционных испарительных технологий за счет:

всестороннего учета особенностей: 1) формирования и отвода дренажных вод с орошаемых земель в испаритель в увязке с внутригодовой динамикой метеорологических факторов; 2) температурного режима дренажного стока; 3) трансформации воздушного потока при обтекании конструктивных элементов испарителя и прохождении над водной поверхностью, влияния этих процессов на испарение воды;

разделения технологических операций «аккумуляция» и «интенсифицированное испарение» минерализованного дренажного стока с обоснованием конструктивных параметров соответствующих элементов испарителя;

применения специальных мероприятий по интенсификации испарения минерализованных вод, в соответствии с установленными ранее [2] уровнем техники и тенденциями развития технических решений для интенсификации данного процесса;

применения специальных технологий по извлечению, обезвоживанию и складированию садовых солей с целью их дальнейшего полезного использования;

использования концентрированных рассолов для создания солнечных водоемов и получения энергии и/или опресненной воды [3];

ориентации на максимально возможное использование всей совокупности нетрадиционных возобновляемых источников энергии;

разработки необходимого и достаточного объема информационного обеспечения функционирования испарителей минерализованного дренажного стока;

оценки негативного воздействия испарителей на окружающую среду и применения специальных мероприятий по минимизации этого влияния.

Предлагаемая технология предназначена для ликвидации и/или сокращения объемов минерализованного дренажного стока гидромелиоративных систем, использование или сброс которых в существующие водоприемники невозможен, а потенциальные потребители отсутствуют.

Сокращение объемов дренажного стока осуществляется способом интенсифицированного испарения на основе преимущественного использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Область применения технологии – при реализации природоохранных мероприятий в орошаемом земледелии и других отраслях агропромышленного комплекса, для утилизации остаточных от опреснения воды рассолов.

Методологической базой для разработки технологии сокращения объемов минерализованного дренажного стока способом интенсифицированного испарения послужили основные положения работ Л.М. Рекса [4-6] и разработанные в ВФ ВНИИГиМ исходные требования к созданию подсистемы утилизации дренажного стока (УДС), структурированные по следующим компонентам технологического процесса: техника (инженерная система), персонал, среда, ресурсы, информация, модели, время, управление, продукт [7] – рисунок 1. Для компонентов технологического процесса «техника» и «ресурсы» требования ориентированы на преимущественное использование ВИЭ.

Указанный подход предписывает раскрывать компоненты технологического процесса следующим образом:

1) техника (инженерная система) – должен быть определен её состав и функции;

2) персонал – должны быть сформулированы требования к профессиональной подготовке персонала, использующего данную технологию;

3) ресурсы – должны быть определены требуемые ресурсы для реализации технологии;

4) среда – определяется круг сред внутренних и внешних, с которыми взаимодействует технология;

5) управление - определяются типы и виды управления технологией;

6) информация - определяется перечень и состав информации, необходимой для реализации технологии;

7) модель - дается перечень моделей, по которым выполняются расчеты;

8) время - определяется временной режим функционирования технологии;

9) продукт – определяется перечень продуктов, услуг, результатов при выполнении технологии.

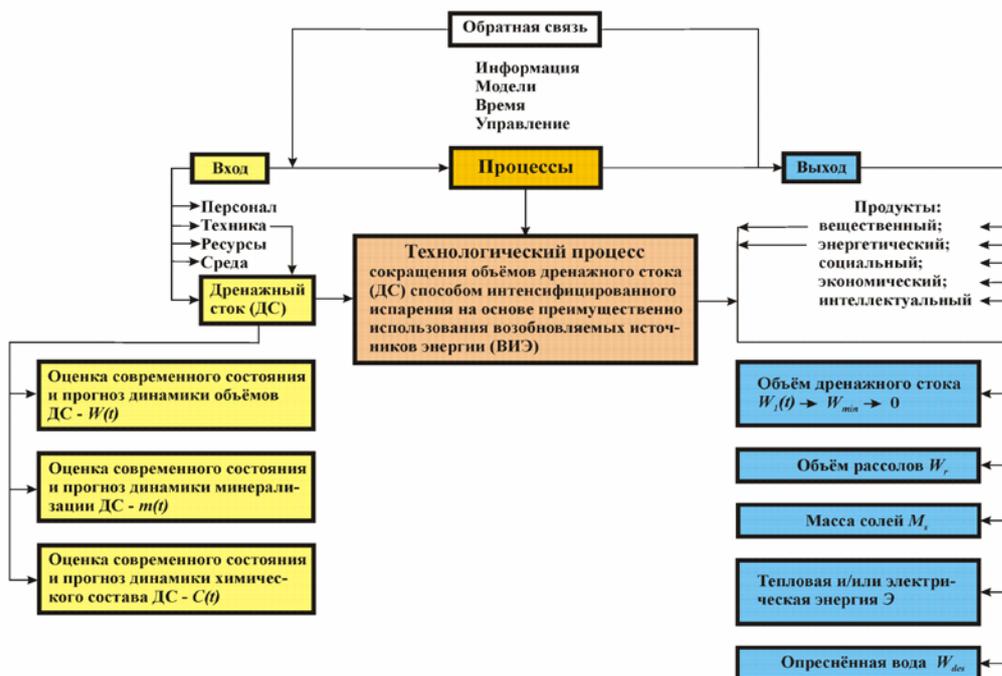


Рисунок 1 - Модель технологического процесса сокращения объемов дренажного стока

Учитывая ограниченный объём статьи, в качестве примера приведем описание компоненты предлагаемой технологии «техника».

Будем рассматривать компоненту технологии «техника» как совокупность следующих составляющих: 1) функциональная модель (дерево функций или операций) технологического процесса; 2) конструктивно-функциональная модель (структура и функции) технологического процесса.

В общем случае разработанная технология включает следующие подсистемы: 1) подсистему для транспортирования дренажного стока от коллекторно-дренажной сети ГМС к подсистеме для аккумуляции ДС в пределах испарителя (ПС1); 2) подсистему для аккумуляции ДС в пределах испарителя (ПС2); 3) подсистему интенсифицированного испарения дренажных вод (ПС3); 4) подсистему для утилизации остаточных от испарения рассолов (ПС4); 5) подсистему для использования концентрированных рассолов и садовых солей (ПС5); 6) подсистему производства и использования энергии (тепловой, электрической), опресненной воды (ПС6).

Функциональная модель технологического процесса представляет собой логико-графическое изображение состава и взаимосвязей его функций, полученное путём их формулировки и определения порядка подчиненности (рис. 2). Описание функций P технологического процесса выполнено в виде трех компонент [8, 9]: $P = f(D, G, H)$, где D - указание действия, производимого рассматриваемым техническим объектом и приводящего к желаемому результату; G - указание объекта, или предмета обработки, на который направлено действие D ; H - указание особых условий и ограничений, при которых выполняется действие D .

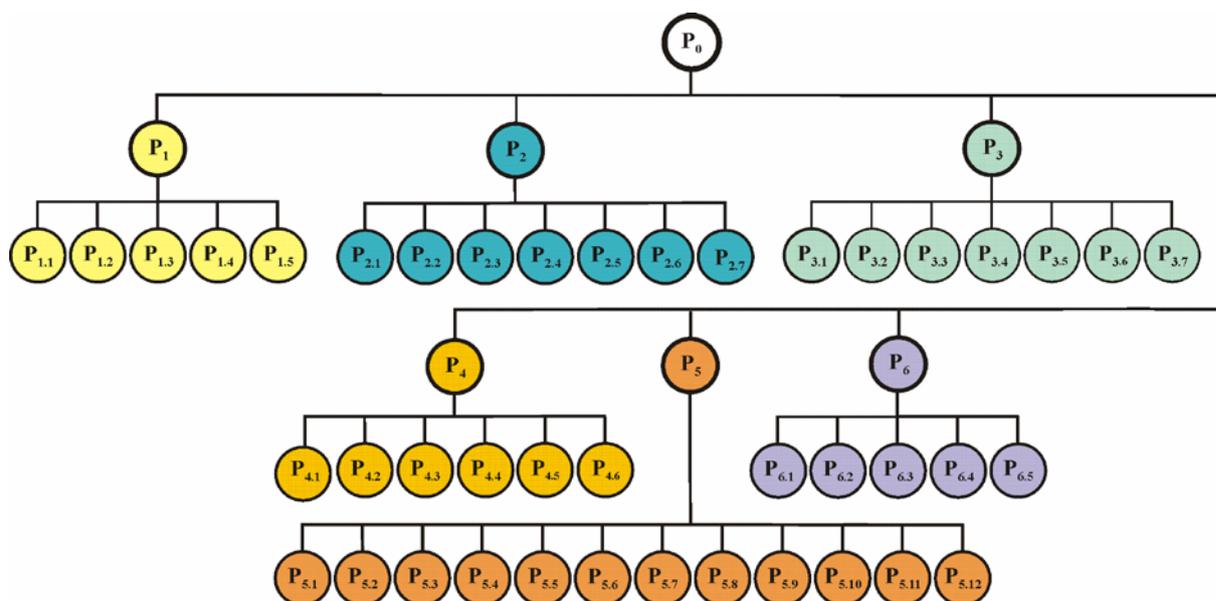


Рисунок 2 - Функциональная модель технологического процесса утилизации минерализованного дренажного стока способом интенсифицированного испарения (условные обозначения в тексте)

Термин «функция» означает способность объекта к выполнению действий, направленных на достижение цели [10], т. е. внешнее проявление свойств объекта [11]. Под термином «операция» понимается совокупность целенаправленных действий объекта [12]. Близость этих понятий (реализованная функция – это операция) позволяет представленную на рисунке 2 функциональную модель рассматривать и как операционную модель разрабатываемого технологического процесса.

Перечисленные выше подсистемы ПС1 – ПС6 в совокупности выполняют главную функцию технологии P_0 : утилизация минерализованного дренажного стока путём его естественного испарения в течение срока службы ГМС. Ниже приведено описание функций технологии на различных уровнях (рис. 2).

P_1 - транспортирование ДС от коллекторно-дренажной сети (КДС) ГМС или непосредственно от дренажа к подсистеме ПС2 в течение периода работы КДС и/или дренажа.

Дерево функций P_1 : $P_{1.1}$ - забор ДС от КДС или дренажа в период их работы; $P_{1.2}$ - транспортирование ДС от их источника к подсистеме ПС2 в период работы КДС и (или) дренажа; $P_{1.3}$ - выпуск (подача) ДС в подсистему ПС2 в период работы КДС и (или) дренажа; $P_{1.4}$ -защита окружающей среды (ОС) от загрязнений дренажным стоком в процессе его транспортирования от источника к подсистеме ПС2; $P_{1.5}$ - обработка ДС в процессе его транспортирования от источника ДС к подсистеме ПС2.

P_2 - аккумуляирование ДС в пределах ПС2 испарителя в период работы подсистемы ПС1 и до завершения годового цикла процесса испарения ДС.

Дерево функций P_2 : $P_{2.1}$ - приём ДС от подсистемы ПС1 в период её функционирования; $P_{2.2}$ - аккумуляирование ДС в период работы подсистемы ПС1 и до

полной сработки годового объёма ДС; $P_{2.3}$ - обеспечение условий забора ДС в подсистему ПС3; $P_{2.4}$ - защита ОС от загрязнений дренажным стоком при его аккумуляции в подсистеме ПС2; $P_{2.5}$ - обработка ДС в процессе его аккумуляции в подсистеме ПС2; $P_{2.6}$ - защита аккумуляированного в ПС2 минерализованного дренажного стока от поступления естественных осадков и поверхностного стока; $P_{2.7}$ - использование ДС в процессах, не связанных с основной целью создания испарителя (например, для разведения водоплавающих птиц, рыбы, для целей рекреации и др.).

P_3 - интенсифицированное испарение дренажных вод, аккумуляированных и поступающих в ПС2, в течение года.

Дерево функций P_3 : $P_{3.1}$ - циклический (осуществляющийся циклами) забор ДС из подсистемы ПС2; $P_{3.2}$ - циклическое транспортирование ДС от ПС2 в отсек (отсеки) интенсифицированного испарения до их заполнения на заданную (обоснованную), при сложившихся на текущий интервал времени T метеоусловиях, глубину h ; $P_{3.3}$ - циклическое интенсифицированное испарение ДС до достижения заданной предельной концентрации рассолов $m = m_{\text{пред}}$; $P_{3.4}$ - циклическое опорожнение отсека (отсеков) интенсифицированного испарения от рассолов, образующихся в процессе испарения ДС, в подсистему ПС4; $P_{3.5}$ - использование отсека (отсеков) интенсифицированного испарения в целях утилизации остаточного от испарения объёма ДС из ПС2 при устойчивом снижении температуры воздуха до $t_b < 0$; $P_{3.6}$ - защита отсека (отсеков) для интенсифицированного испарения минерализованного ДС от поступления естественных осадков и поверхностного стока; $P_{3.7}$ - защита ОС от загрязнений дренажным стоком при его обработке в подсистеме ПС3.

P_4 - утилизация остаточных от испарения ДС рассолов.

Дерево функций P_4 : $P_{4.1}$ - циклический приём остаточных от испарения ДС рассолов в период функционирования ПС3; $P_{4.2}$ - аккумуляирование рассолов в течение периода функционирования испарителя; $P_{4.3}$ - концентрирование рассолов за счёт естественного испарения в период $t_b > 0^\circ\text{C}$ (функция внешней среды) до заданных пределов по минерализации; $P_{4.4}$ - охрана ОС от загрязнений рассолами из ПС4 в течение срока функционирования испарителя; $P_{4.5}$ - подача рассолов в подсистему использования концентрированных рассолов и садовых солей ПС5; $P_{4.6}$ - защита накопителя рассолов от попадания осадков и поверхностного стока (талых и ливневых вод) в период его образования в зоне водосбора испарителя.

P_5 - использование концентрированных рассолов и садовых солей из ПС4.

Дерево функций P_5 : $P_{5.1}$ - прием концентрированных рассолов из ПС4 с заданным интервалом минерализации; $P_{5.2}$ - аккумуляирование концентрированных рассолов; $P_{5.3}$ - подача рассолов потребителям и их использование в качестве среды, сырья и для процессов, не связанных с основной целью создания испарителя; $P_{5.4}$ - забор садовых солей из ПС4 и отсека аккумуляции концентрированных рассолов в ПС5; $P_{5.5}$ - обезвоживание садовых солей; $P_{5.6}$ - сушка садовых

солей; P_{5.7} - размельчение садовых солей; P_{5.8} – фасовка размельченных садовых солей; P_{5.9} - складирование и хранение фасованных солей; P_{5.10} – подача фасованных солей потребителям; P_{5.11} - охрана ОС от загрязнений рассолами и солями из ПС5 в течение срока функционирования испарителя; P_{5.12} – защита элементов подсистемы ПС5 от попадания осадков и поверхностного стока (талых и ливневых вод) в период их образования в зоне водосбора испарителя.

P₆ - производство и использование энергии (тепловой, электрической), опресненной воды – основано на создании солнечного водоема.

Дерево функций P₆: P_{6.1} – производство тепловой энергии на основе использования эффекта солнечного водоема; P_{6.2} – производство электрической энергии на основе использования эффекта солнечного водоема; P_{6.3} – производство пресной воды на основе использования тепловой и электрической энергии; P_{6.4} – использование энергии (тепловой, электрической) для интенсификации испарения минерализованных дренажных вод (ПС3); P_{6.5} – использование опресненной воды для удовлетворения потребности эксплуатационной службы испарителя.

Разработанная обобщенная функциональная модель технологического процесса утилизации минерализованного стока может быть уточнена за счет формулировки и рассмотрения функций более низкого (третьего и четвертого) уровня.

Предлагаемая функциональная модель, составленная с достаточной степенью абстрагирования от конструктивной структуры, дает возможность, путем использования аппарата морфологического метода исследования систем [18], осуществлять процесс синтеза новых технических решений в результате формирования множества альтернативных вариантов реализации установленных функций технологического процесса.

Согласно [8, 9] конструктивно-функциональная модель технологической системы представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются наименования конструктивных элементов системы, а ребрами функции элементов.

Исходя из функциональной модели (рис. 2) разработанная технология утилизации минерализованного дренажного стока имеет следующую конструктивно-функциональную структуру – рисунок 3.

Условные обозначения на рисунке 3: 0 – коллекторно-дренажная сеть ГМС (или собственно дренаж ГМС); 1 – узел забора ДС в ПС1; 2 – проводящая сеть ПС1; 3 - сооружение для обработки ДС в процессе транспортирования по ПС1; 4 – узел выпуска ДС в ПС2; 5 – водоприемное сооружение в ПС2; 6 – отсек для аккумуляции ДС в ПС2; 7 – узел обработки ДС в процессе его аккумуляции в ПС2; 8 – система защиты отсеков испарителя (для аккумуляции и испарения ДС, концентрирования рассолов и др.) от поступления естественных

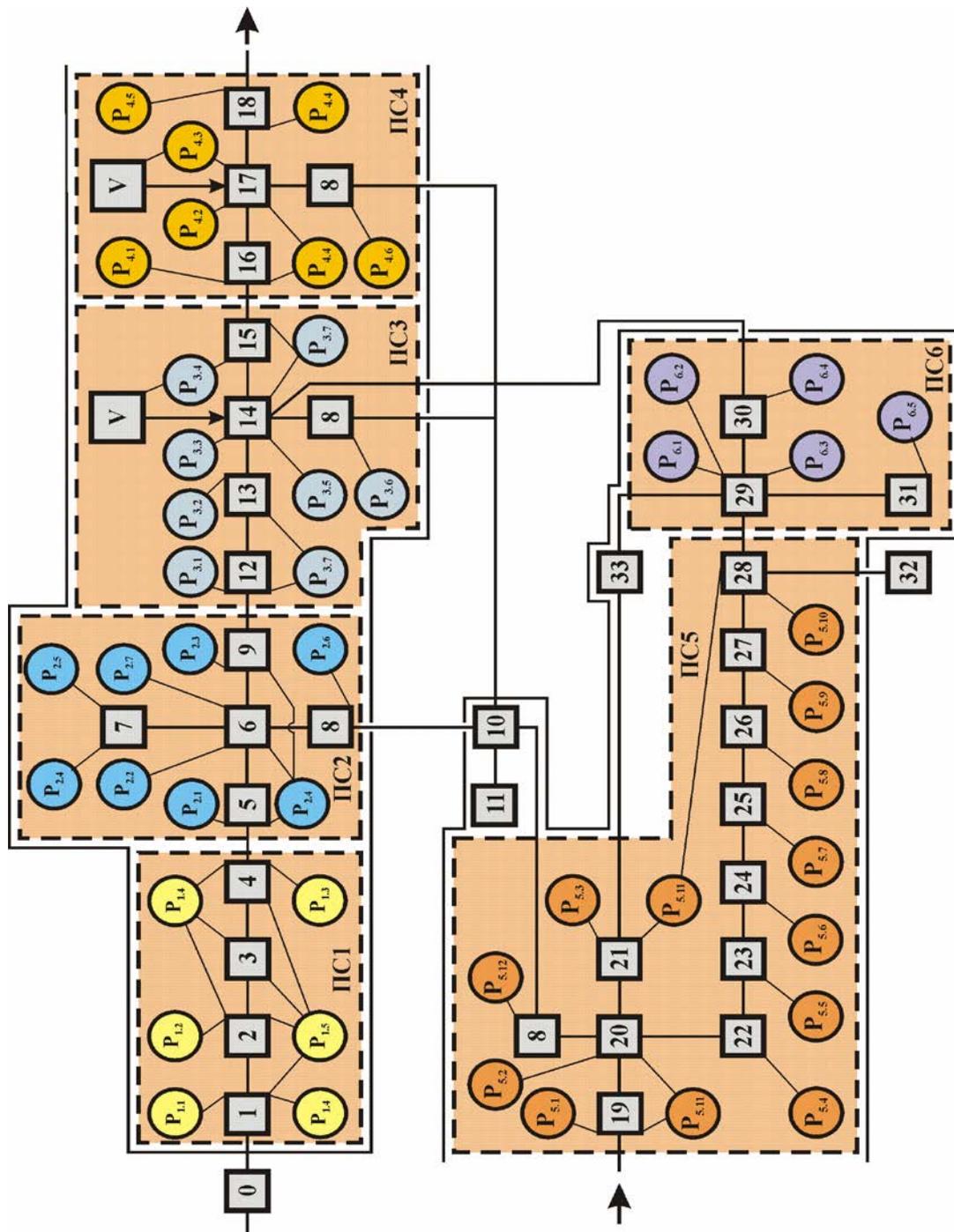


Рисунок 3 – Конструктивно-функциональная модель технологического процесса утилизации минерализованного дренажного стока способом интенсифицированного испарения

Условные обозначения:

- внешняя граница технологической системы; - - - граница подсистем испарителя;
- функция технологического процесса; □ конструктивный элемент технологической системы

осадков и поверхностного стока; 9 - узел выпуска ДС из ПС2; 10 – накопитель естественных осадков и поверхностного стока; 11 – потребитель естественных осадков и поверхностного стока; 12 – узел циклического забора ДС из ПС2 в

проводящую сеть ПС3; 13 – проводящая сеть ПС3; 14 – отсек циклического интенсифицированного испарения ДС; 15- узел циклического опорожнения отсека 14 от рассолов; 16 – узел циклического приема рассолов из отсека 14 интенсифицированного испарения; 17 – отсек для аккумуляции остаточных от испарения ДС рассолов; 18 – узел выпуска концентрированных рассолов в ПС5; 19 – узел приема концентрированных рассолов в ПС5; 20 – отсек для аккумуляции концентрированных рассолов ПС5; 21 - узел подачи концентрированных рассолов потребителям; 22 – узел забора садовых солей из отсека 20; 23 – установка для обезвоживания садовых солей; 24 – установка для сушки обезвоженных садовых солей; 25 – установка для размельчения садовых солей; 26 – установка для фасовки садовых солей; 27 – сооружение для складирования и хранения садовых солей; 28 – узел подачи фасованных садовых солей потребителю; 29 – солнечный водоем; 30 – потребитель энергии в пределах испарителя; 31 - потребитель опресненной воды в пределах испарителя; 32 – потребитель фасованных садовых солей; 33 – потребитель концентрированных рассолов; V – внешняя среда.

Предлагаемая конструктивно-функциональная модель технологического процесса является основой для разработки следующих, более высоких уровней его описания: принципа действия, технического решения, значений параметров. В таблице 1 приведено краткое описание 8 технических решений, разработанных в ВФ ВНИИГиМ и использованных при создании технологии сокращения объемов минерализованного дренажного стока способом интенсифицированного испарения.

Из 8 разработанных технических решений, 7 - защищены патентами, одно – положительным решением на выдачу патента на изобретение. Еще 2 технических решения находятся в стадии оформления заявок на изобретения.

Заключение

На стадии концептуального проектирования разработана технология сокращения объемов минерализованного дренажного стока, включая следующие основные компоненты: техника (инженерная система), ресурсы, среда, информация, управление, модель, время, персонал, продукт.

Предлагаемая технология отличается от известных ранее тем, что за счет создания, унификации и применения новых технических решений обеспечивается интенсифицированное (в 2–4 раза) испарение дренажных вод на основе использования преимущественно возобновляемых источников энергии, в результате чего достигается повышение эффективности функционирования и экологической безопасности, расширение функциональных возможностей, снижение энергоёмкости и площади утилизационных комплексов (на 10 – 30 %). По состоянию на 01.01.2018 г. элементы новой технологии защищены патентами № 2214486, 2357041, 2370511, 2515041, 2527032, 2527041, 2528006.

Таблица 1 - Технические решения для создания технологии сокращения объёмов минерализованного дренажного стока

Техническое решение, номер патента на изобретение, авторы	Сущность технического решения (изобретения)	Направления использования технического решения при разработке технологии
1	2	3
1. Накопитель дренажного стока гидромелиоративных систем. Пат. № 2214486. Конторович И.И.	Дифференцированная аккумуляция дренажного стока по отсекам накопителя в зависимости от их минерализации и без дополнительных затрат на улучшение его качества.	Снижение объёма дренажного стока, подлежащего испарению или опреснению.
2. Накопитель дренажного стока гидромелиоративных систем. Пат. № 2357041. Конторович И.И.	Концентрирование дренажного стока, получение рассолов с минерализацией 200 – 300 г/л и их использование для производства энергии и опресненной воды на основе применения эффекта солнечного водоёма.	Использование концентрированных рассолов при создании солнечных водоёмов для энергетического обеспечения функционирования испарителя.
3. Противогололедный материал. Пат. № 2370511. Конторович И.И.	Утилизация солей и/или концентрированных рассолов, образующихся как результат функционирования ГМС, путем их использования для предотвращения скользкости на дорогах.	Применение солей рассолов из испарителя в качестве противогололедного материала
4. Пруд-испаритель дренажного стока. Пат. № 2515041. Кизяев Б.М., Бородычев В.В., Конторович И.И. Губин В.К.	Интенсификация испарения минерализованного дренажного стока за счёт увеличения площади испаряющей поверхности и периодического восстановления адсорбирующей способности вертикальных акселераторов испарения, выполненных из капиллярно-пористых материалов, в результате их промывки.	Альтернативный вариант интенсификации испарения минерализованных дренажных вод.
5. Способ утилизации дренажного стока. Пат. № 2527032. Кизяев Б.М., Бородычев В.В., Конторович И.И. Губин В.К.	Интенсификация испарения за счет капиллярного подъема минерализованной воды, поступающей из испарителя по почвенным увлажнителям к поверхности специальных земляных дамб, где накапливаются соли.	Альтернативный вариант интенсификации испарения минерализованного ДС. Способ и место размещения солей.
6. Пруд-испаритель минерализованного дренажного стока.	Интенсификация испарения минерализованного дренажного стока за счёт	Альтернативный вариант интенсификации

Техническое решение, номер патента на изобретение, авторы	Сущность технического решения (изобретения)	Направления использования технического решения при разработке технологии
1	2	3
Пат. № 2527041. Кизяев Б.М., Бородычев В.В., Конторович И.И. Губин В.К.	увеличения площади испаряющей поверхности и периодического восстановления адсорбирующей способности горизонтальных акселераторов испарения, выполненных из капиллярно-пористых материалов, в результате их промывки	ции испарения минерализованных дренажных вод.
7. Пруд-испаритель дренажного стока. Пат. № 2528006. Кизяев Б.М., Бородычев В.В., Конторович И.И. Губин В.К.	Интенсификация испарения минерализованного ДС за счет увеличения интенсивности турбулентного перемешивания воздушных потоков в зоне, контактирующей с испаряющей поверхностью, включая и дополнительно увлажняемые поверхности любых установок открытого типа для интенсификации испарения.	Альтернативный вариант интенсификации испарения минерализованного ДС. Способ повышения производительности установок открытого типа для интенсификации испарения.
8. Накопитель-испаритель минерализованного дренажного стока. Заявка на изобретение № 2017116963 от 16.05.2017 г. Решение о выдаче патента от 27.12.2017 г. Кизяев Б.М., Бородычев В.В., Конторович И.И. Губин В.К., Сосновский А.В.	Интенсификация испарения минерализованного ДС за счёт повышения тем-пературы воды; увеличения площади испаряющей поверхности в результате аэрации воды; улучшения теплообмена поверхности воды в отсеке интенсифицированного испарения с воздушными массами благодаря обоснованному высотному расположению данного отсека относительно окружающей местности.	Альтернативный вариант интенсификации испарения минерализованных дренажных вод.

Список использованных источников

1. Бородычев, В.В. Повышение эффективности процесса испарения минерализованных дренажных вод / В.В. Бородычев, И.И. Конторович // Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК. Материалы межд. н/пр. конф. – М.: Изд. ВНИИГиМ, 2017. – С.46 – 49.

2. Конторович, И.И. Уровень техники и тенденции развития технических решений для интенсификации испарения с водной поверхности // Научный журнал РосНИИПМ. – 2016. - № 1. – С. 241 – 256.

3. Конторович, И.И. Использование солнечных водоёмов для утилизации минерализованного дренажного стока с орошаемых земель // Современные проблемы мелиорации и водного хозяйства. Материалы юбилейной международной научно-практической конференции

«100-летие мелиоративной науки и 85-летие ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова». 24 – 25 ноября 2009 г./ ВНИИГиМ. Том 1 – М., 2009. – С. 395 – 402.

4. Рекс, Л. М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем / Л.М. Рекс. – М.: Аслан, 1995. – 192 с.

5. Рекс, Л. М. Концепция и технология оценки новых разработок в мелиоративной деятельности / Л. М. Рекс // Мелиорация и водное хозяйство. – 2000. – № 2. – С. 5–6.

6. Рекс, Л. М. Мелиорация деятельно-техноприродных систем / Л. М. Рекс // Природообустройство. – 2009. – № 4. – С. 42–48.

7. Бородычев, В.В. Утилизация дренажного стока с орошаемых земель: исходные требования к разработке процесса / В.В. Бородычев, И.И. Конторович // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. - № 3. – 19 с.

8. Половинкин, А.И. Теория проектирования новой техники: закономерности техники и их применения / А.И. Половинкин. – М.: Информэлектро, 1991. – 104 с.

9. Половинкин, А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.

10. Одрин, В.М. Морфологический анализ систем / В.М. Одрин, С.С. Картавов. – Киев: Наукова думка, 1977. – 148 с.

11. Санников, В.П. Функционально-стоимостной анализ в мелиорации /В.П. Санников, В.Т. Савченко, Н.И. Тупикин. – М.: ГУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2000. – 184 с.

12. Вентцель, Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 551 с.

УДК 631.674

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОРОШЕНИЯ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СПОСОБОВ ПОЛИВА

Бородычев В.В.¹, Храбров М.Ю.², Губин В.К.², Гуренко В.М.¹, Майер А.В.¹

¹ВФ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Россия;

²ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Разработка новейших, опережающих технологий производства сельскохозяйственной продукции на конкурентоспособной по отношению к мировому рынку основе является одной из главнейших задач современной сельскохозяйственной науки. В области мелиорации приоритетной задачей является разработка конструкций гидромелиоративных систем нового поколения, обеспечивающих конкурентоспособное производство продукции на мелиорированных землях, решение проблемы импортозамещения и выход отечественного агробизнеса на мировой рынок [1-3].

Перспективными направлениями совершенствования конструкций гидромелиоративных систем на современном этапе развития науки и техники видится:

– использование мелиоративной инфраструктуры, инженерных конструкций и сооружений для комплексного регулирования факторов жизни растений на мелиорированных землях. Возмещение дефицита почвенной влаги, как находящегося в минимуме фактора жизни растений в засушливых условиях юга России, определяет, безусловно, наибольшую отдачу гидротехнических мелиораций. Однако, уже сегодня трудно себе представить использование орошение ис-

ключительно для регулирования запасов почвенной влаги. Возможности оросительной техники используются для проведения подкормок минеральными удобрениями, применения стимуляторов роста, системных средств защиты растений. Новым этапом развития гидромелиоративных систем в этом направлении является создание конструкций, реализующих возможность проведения функционально отличных способов полива, в полной мере сохраняющих преимущества каждого из них;

– использование технологий комплексного регулирования водооборота мелиорируемых территорий за счет включения в состав гидромелиоративных систем конструкций, обеспечивающих отвод и утилизацию минерализованного дренажного стока;

– использование всех преимуществ современных информационных технологий для организации интеллектуального управления работой гидромелиоративных систем на основе мониторинга режимов работы техники и состояния объекта управления в режиме реального времени.

Эти направления нами приняты в качестве приоритетных.

Комбинированное орошение представляет собой сочетание различных способов полива, при котором наилучшим образом используются достоинства каждого [3].

Комбинированное орошение позволяет сочетать гибкое регулирование запасов влаги в почве с созданием оптимальных для растения условий температуры и влажности приземного слоя воздуха. Для каждой природно-хозяйственной зоны принимается наиболее эффективная в данных условиях поливная техника, обеспечивающая создание систем, работающих в заданных режимах, в соответствии с фазами развития и биологическими особенностями орошаемых культур [4].

При комбинированном орошении может значительно снижаться неблагоприятное воздействие на растения воздушной засухи путём регулирования микроклимата посева в жаркие сухие дни вегетационного периода, когда температура воздуха превышает оптимальную температуру для культуры, что невозможно сделать при орошении только одним методом (капельным орошением, поливом по бороздам, подпочвенным орошением и т. д.). Применение комбинированных способов орошения может способствовать увеличению урожайности, а также снижению расхода воды по сравнению с орошением только одним традиционным способом [5, 6].

Одним из направлений повышения эффективности комбинированных способов орошения является расширение спектра их применения путём создания гидромелиоративных систем (ГМС) на основе сочетания различных способов малообъёмного орошения [7, 8].

Сущность проблемы заключается в том, что в условиях засухи, даже при оптимальном уровне влажности почвы, растение страдает от повышенной температуры и сухости воздуха. Это приводит к резкому снижению урожайности, а при затяжном засушливом периоде к полной потере урожая.

Существует довольно значительное количество способов комбинированного орошения, в том числе:

1. Сочетание системы капельного орошения и увлажнения воздуха с помощью спринклеров, обеспечивающих мелкокапельное распыление (диаметр капли до 2 мм). Используется при выращивании виноградных саженцев, увеличивает приживаемость.

2. Сочетание мелкодисперсного дождевания с традиционными способами орошения (капельное орошение, дождевание, полив по бороздам). Группой авторов установлена эффективность данного способа орошения в аридных регионах страны на целом ряде культур. Так, при возделывании картофеля, гречихи, капусты, кукурузы на силос, люцерны, огурцов, озимой и яровой пшеницы, сахарной свеклы, хмеля в большинстве случаев выявлено значительное преимущество комбинированного орошения по сравнению с традиционным способом орошения, заключающееся в экономии поливной воды, а также увеличении урожайности.

3. Сочетание локального увлажнения почвы (при капельном или подкромном дождевании) с аэрозольным увлажнением крон деревьев. Использование данного способа предусматривает проведение частых поливов, а в засушливые периоды – ежедневного многократного увлажнения, когда оптимальным является полив в течение 5 мин, пауза – 40-75 мин.

4. Сочетание полива дождеванием с импульсно-капельным способом орошения при использовании общей трубопроводной сети. При необходимости система способна работать как в режиме дождевания, так и импульсно-капельного орошения.

5. Сочетание обычного дождевания с аэрозольным орошением. В жаркие и засушливые дни применение аэрозольного увлажнения способствовало снижению температуры воздуха на 2-7⁰С, относительная влажность воздуха повышалась на 5-22%.

Оценивая эффективность и возможность реализации различных способов и устройств формирования микроклимата поля и снятия температурного и водного стресса, наиболее разработанными и перспективными следует признать стационарные системы, сочетающие капельное орошение с мелкодисперсным дождеванием (МДД).

К числу проблем, которые препятствуют широкому применению сочетания различных способов малообъемного орошения, относится недостаточная информация о требованиях к оптимальным параметрам микроклимата с учетом особенностей отдельных сельскохозяйственных культур, ограниченность информации об экономическом эффекте и целесообразности дополнительных капиталовложений, а также высокие требования к уровню очистки воды, используемой при капельном орошении и мелкодисперсном дождевании.

В связи с этим, возникают задачи дальнейшего усовершенствования комбинированных способов орошения с целью:

1. Создания стационарных комбинированных систем полива, совмещающих в единой системе капельное орошение и мелкодисперсное дождевание и

способных производить мелкодисперсное дождевание разовыми нормами (от 400 до 1200 л/га), с объемно-поверхностным диаметром капель 100-500 мкм при возможности регулирования межполивного интервала в пределах от 0,5 до 2 ч на фоне капельного увлажнения почвы (преимущественно для пропашных и овощных культур).

2. Создания комбинированных систем орошения, сочетающих полосовое и мелкодисперсное дождевание, способных качественно работать при использовании воды из открытых водоисточников без тонкой очистки.

3. Расширения диапазона воздействия комбинированного орошения на микроклимат поля путем дифференцирования режимов работы систем мелкодисперсного дождевания, включая оптимизацию продолжительности опрыскивания и периода времени между его повторением.

4. Разработки режимов комбинированного орошения с учётом специфики возделывания отдельных культур.

Особенность технологии комбинированного орошения (капельного и МДД) сельскохозяйственных культур заключается в дискретном проведении мелкодисперсного дождевания на фоне капельного орошения с учётом климатических и почвенных условий, потребностей возделываемых культур и фаз их развития. Такое комбинированное орошение позволяет осуществлять гибкое регулирование запасов воды в почве, а также влажности и температуры приземного слоя воздуха на протяжении всего вегетационного периода.

Исследования в соответствии с планом реализации Программы фундаментальных научных исследований ведутся нами с 2014 года. За предыдущие отчетные периоды выполнено:

- проведено научное обобщение и анализ современных достижений в области технических решений по конструкциям гидромелиоративных систем и составлено техническое задание на разработку конструкции гидромелиоративных систем на основе регулирования водного и воздушного режимов в целях производства сельскохозяйственной продукции (Задание 7.4.1, 2014 г.);

– разработан эскизный проект конструкции универсальной многофункциональной мелиоративной системы нового поколения и предложены технические решения конструкций многофункциональной системы орошения для комбинированных способов полива (Задание 7.4.1, 2015 г.);

– разработаны конструкции систем орошения для комбинированного способа полива (Задание 7.4.1, 2016 г.).

Цель исследований на 2017 год – разработка конструкции и изучение формирования системы орошения для комбинированных способов полива.

Объектами исследований являются технические средства систем комбинированного орошения, включающие мелкодисперсное увлажнение почвы и воздуха.

Новизна исследований в 2017 г. заключается в разработке новой конструкции распылительной насадки для комбинированного орошения, обосновании технической характеристики системы и гидравлического расчета поливной сети

модульного участка системы комбинированного орошения. Представлены материалы по моделированию влагопереноса при комбинированном орошении с использованием дифференцированного уравнения Пуассона. Разработанные методические подходы к математическому моделированию распространения влаги с использованием дифференциальных уравнений частных производных в дальнейшем будут использованы для построения контуров увлажнения с учетом различных агрометеорологических параметров, включая изменение влажности почвы, микро и фитоклимата посевов. Разработан стенд для моделирования процессов влагообмена в почвогрунте при выращивании овощных культур (в частности, столовой свеклы) на капельном орошении.

До настоящего времени основным способом орошения является дождевание, при котором вода подается в виде крупных капель, которые уплотняют почву, нарушая её структуру. При этом поливные нормы зачастую превышают впитываемость воды почвой, что приводит к поверхностному стоку, фильтрации воды в нижележащие слои и избыточному испарению воды с поверхности орошаемых полей.

Для устранения этих неблагоприятных экологических явлений в последнее время применяется мелкодисперсное дождевание, которое позволяет подавать воду в виде мелких капель дождя различной дисперсности для увлажнения растений и почвы.

Водоудерживающая способность листового покрова растений определяется количеством воды в виде капель, остающихся на растениях после обработки. Способность растений удерживать капли на листовой поверхности зависит от размера капель и вида растений. При мелкодисперсном дождевании растений капли удерживаются даже при вертикальном положении листьев. При этом водоудерживающая способность листьев зависит от стадии роста растений. В начале вегетации площадь листьев в несколько раз меньше, чем в середине вегетационного периода. В связи с этим, интенсивность мелкодисперсного дождевания и диаметр капель в течение вегетации могут увеличиваться, так как удерживающая способность листового покрова возрастает.

При мелкодисперсном дождевании водяная пыль, медленно оседая в воздухе, активно испаряется, вызывая понижение его температуры и повышение относительной влажности. При этом капли охлаждают наземную часть растений и увеличивают влажность приземного слоя воздуха. Мелкодисперсное дождевание в течение вегетационного периода создает благоприятные фитоклиматические условия для произрастания сельскохозяйственных культур, способствует устранению депрессии фотосинтеза, снижению расхода воды растением на транспирацию в жаркое время дня и увеличению урожайности.

При достаточной влажности почвы растения при воздушной засухе часто страдают из-за температурного стресса. Воздушная засуха может совпадать с периодом цветения зерновых и при этом резко снижать урожайность.

Экспериментально установлено, что мелкодисперсное дождевание посевов нормами 1,5-2 м³/га во время воздушной засухи позволяет значительно снизить ущерб. Периодическое многократное опрыскивание в наиболее жаркое

время суток, когда температура воздуха превышает 25°C, позволяет снизить влияние температурного стресса на растения и повысить урожайность на 20%. Увлажнение приземного слоя воздуха выполняют разбрызгиванием воды с каплями диаметром до 500 мкм в жаркое время дня с 11 часов до 17 часов дня. Интервал между увлажнениями составляет примерно 1 (один) час.

Чтобы понять какой объем воды надо распылять для увлажнения одного гектара площади в разные по срокам вегетации растений, необходимо знать объем воды в одной капле, площадь поверхности капли и количество капель.

Объем одной капли можно вычислить по формуле, определяющей объем шара:

$$V = \frac{1}{6} \cdot \pi d^3, \text{ мм}^3$$

В нашем случае объем одной капли при её диаметре 0,5 мм будет равен 0,065 мм³. Таким образом, в 1 мл воды будет примерно 15000 капель, а в 1 м³ – 15·10⁹ капель.

Площадь поверхности капли можно определить по формуле площади поверхности шара:

$$S = \pi d^2, \text{ мм}^2$$

Площадь поверхности одной капли при диаметре 0,5 мм будет равна 0,785 мм². При количестве капель в 1 м³ равном 15·10⁹, общая поверхность распыляемых капель составит примерно 12·10⁹ мм² или 12·10³ м².

Как уже говорилось, средняя норма опрыскивания составляет 2 м³/га, при это общая поверхность распыляемых капель составит 24000 м², что превышает площадь поверхности поля размером 1 га (10·10⁹ мм²), более чем в два раза.

В связи с изложенным, разовую норму опрыскивания можно сократить более чем в два раза в начале вегетационного периода с увеличением этой нормы по мере роста растений и увеличения их листовой поверхности.

В таблице 1 показано изменение площади поверхности распыляемых капель в зависимости от их диаметра.

В соответствии с изложенным, при наличии данных по площади листовой поверхности выращиваемой культуры, можно при сокращении количества используемой для опрыскивания воды и улучшить физиологическое состояние посевов, посредством изменения количества воды в разные периоды вегетации.

В ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова разработан способ регулирования фитоклимата поля (патент РФ №2567521, 2015 г.), включающий периодическое мелкодисперсное увлажнение растений с учетом температуры и влажности приземного слоя воздуха и почвы, а также скорости и направления приземного ветра. Распыление аэрозоля производят с автоматическим регулированием высоты и направления его подачи, а также размера капель в нем, по результатам мониторинга температуры и влажности приземного слоя воздуха и почвы, скорости и направления приземного ветра в режиме реального времени на основе данных, получаемых от автоматизированного измерительного комплекса.

На основе мониторинга в режиме реального времени температуры и влажности почвы и приземного слоя воздуха, а также направления и скорости его передвижения (приземного ветра) осуществляется автоматическое регулирование высоты и направления распыливания аэрозоля, а также его структуры, и позволяет путем дистанционного управления работой каждого отдельного генератора аэрозоля обеспечить поддержание влажности и температуры приземного слоя воздуха и почвы в оптимальных пределах на всей площади поля.

Таким образом, реализация способа регулирования фитоклимата поля с помощью, предназначенной для его осуществления оросительной системы, обеспечивает автоматическое поддержание благоприятных для растений условий в течение всего вегетационного периода на всей площади поля.

На основе анализа исходных данных, производится выбор способа орошения, наиболее отвечающего требованиям орошаемой культуры в данных природных условиях, с учётом имеющихся ресурсов. Кроме того, проводится оценка воздействия выбранного способа на окружающую среду, а также эколого-экономическое обоснование применения выбранной оросительной системы.

После определения способа орошения производится подбор конструкций и элементов системы для осуществления конкретного способа орошения (рис. 1). Исходя из особенностей отобранных конструкций, устанавливаются элементы техники полива и задают режим орошения. В соответствии с установленным режимом орошения укомплектовывают гидромодуль оросительной системы, на основе которого производят расчёт параметров водораспределительной сети и оборудования на ней.

Таким образом, накопленные к настоящему времени результаты производственного и экспериментального применения новых способов орошения позволяют разработать конструкции гидромелиоративных систем нового поколения, комбинированного регулирования влажности почвы на основе сочетания нескольких ресурсосберегающих систем или сочетания традиционных и новых.

Таблица 1 - Показатели распыляемой воды при мелкодисперсном дождевании в зависимости от диаметра капель

№№	Диаметр капли, мм	Объем одной капли, мм ³ , $V = \frac{1}{6} \cdot \pi d^3$	Площадь поверхности капли, мм ² , $S = \pi d^2$	Количество капель в 1 м ³ , шт.	Общая поверхность распыляемых капель, мм ²
1	0,05	0,000065	0,00785	15·10 ¹²	118·10 ⁹
2	0,10	0,0005	0,0314	20·10 ¹¹	63·10 ⁹
3	0,20	0,0042	0,1256	24·10 ¹⁰	30·10 ⁹
4	0,30	0,0141	0,2826	71·10 ⁹	20·10 ⁹
5	0,40	0,0335	0,5024	30·10 ⁹	15·10 ⁹
6	0,50	0,0654	0,785	15·10 ⁹	12·10 ⁹

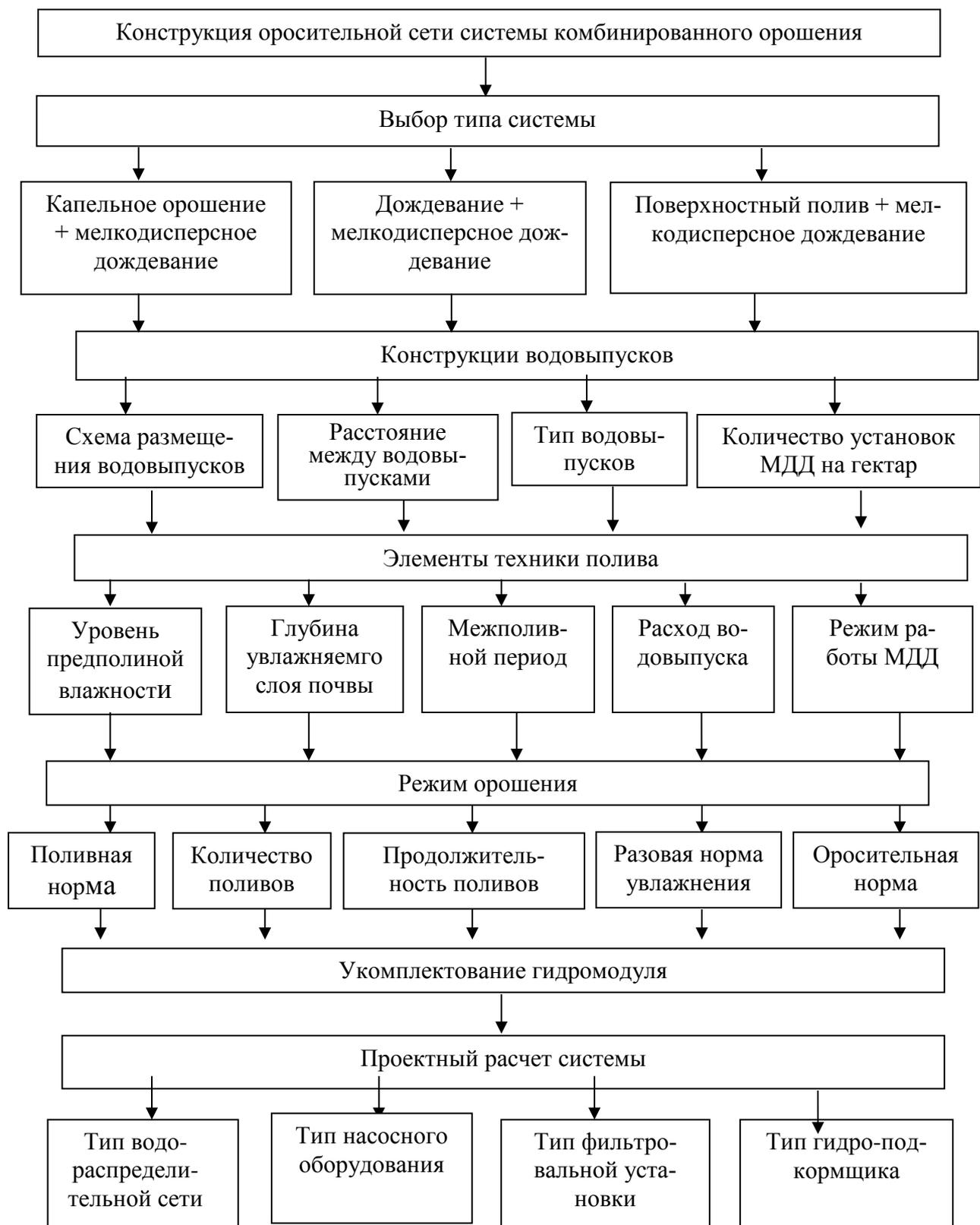


Рисунок 1 - Блок-схема проектирования системы комбинированного орошения

Список использованных источников

1. Овчинников А.С., Бородычев В.В., Гуренко В.М. Научно-деловому и образовательному центру агротехнопарк – перспективные технологии производства сельскохозяйственной продукции//Известия Нижне-Волжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. - № 3(35). – С. 7-12.
2. Овчинников А.С., Бородычев В.В., Храбров М.Ю., Гуренко В.М., Майер А.В. Комбинированное орошение сельскохозяйственных культур //Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. –2015. – № 2. – С. 6-13
3. Бородычев В.В., Храбров М.Ю., В.К. Губин, Н.Г. Колесова, Т.С. Акимова Система комбинированного орошения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 1 (41). С. 201-210.
4. Сухарев Ю.И., Храбров М.Ю., Бубер А.А. Перспективная конструкция системы комбинированного орошения/Научная жизнь. – 2016, № 3.
5. Губин В.К., Храбров М.Ю., Майер А.В., Колесова Н.Г. Регулирование фитоклимата поля с помощью системы аэрозольного увлажнения. // Сб. Экологические аспекты использования земель в современных экономических формациях. Материалы Международной научно-практической конференции, 24 мая 2017 г., ВолГАУ, г. Волгоград, 2017 г. – С.117-124.
6. Бородычев В.В., Гуренко В.М., Майер А.В., Храбров М.Ю. К вопросу разработки конструкции систем комбинированного орошения//Пути повышения эффективности аграрной науки в условиях импортозамещения: сб. научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Дагестанского государственного аграрного университета имени М.М. Джамбулатова 20-21 сентября 2017 г. – Махачкала: ФГБОУ ВО Дагестанский ГАУ.- С. 12-20.
7. Бородычев В.В., Храбров М.Ю., Гуренко В.М., Майер А.В., Губин В.К., Бубер А.А. Разработка конструкций систем орошения для комбинированных способов полива /Сб. научных Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования. Международная научно-практическая конференция 31 января – 03 февраля 2017, г. Волгоград. – С.62-67.
8. Майер А.В. Тройная польза двойного орошения Земля и жизнь. Аграрная газета ЮФО, № 19(122) 1-15 октября 2016 г.

УДК 631.674.6 : 634.8

КОМБИНИРОВАННОЕ ОРОШЕНИЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ЭЛИТНЫХ САЖЕНЦЕВ ВИНОГРАДА

Бородычев С.В., Гуренко В.М.

ВФ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Комбинированное орошение – способ полива, который сочетает в себе мелкодисперсное и капельное орошение. Комбинированное орошение позволяет использовать преимущества обоих видов полива, подавая воду с питательными веществами непосредственно в корневую зону и одновременно увлажняя воздух и снижая его температуру [1, 2].

Применяя такой способ полива, мы получаем возможность минимизировать факторы риска при неблагоприятных условиях. Система подачи воды при использовании комбинированного орошения может быть индивидуальной для каждой (отдельно капельное орошение и дождевание), или единой. При едином

способе подачи воды вода подается в систему капельного полива и от толстостенных капельных трубок диаметром 16...20 мм непосредственно к распылителям (микроспринклерам) [4].

В засушливых условиях Нижнего Поволжья применение комбинированного орошения более эффективно будет на высокодоходных культурах, таких как выращивание виноградных саженцев в питомниках, на посадках картофеля, при выращивании посадочного материала земляники [3, 4].

Виноградарство является перспективным сегментом российского агропромышленного комплекса. Количество сельскохозяйственных организаций, которые занимаются производством винограда в Российской Федерации составляет около 500, из них более 100 организаций являются крупными виноградными хозяйствами с площадью виноградников более 150 га [5, 6]. Большая часть площадей виноградных насаждений (около 98%) сосредоточена на юге Российской Федерации в Южном, Северо-Кавказском и Крымском федеральных округах.

Валовой сбор винограда в 2015 году составил 475 тыс. т в том числе столовых сортов 111,5 тыс.т. Производство саженцев винограда составило 3,8 млн.шт., из них около 2 млн. шт. корнесобственные. Объемы закладки новых виноградников зависит от работ по выращиванию саженцев необходимых сортов и в необходимых количествах. Обеспечение наполнения внутреннего рынка качественной продукцией, импортозамещение и наращивание экспортного потенциала возможно за счет стимулирования роста мелких (фермерских) хозяйств и виноделен. Все это обеспечит существенное увеличение площадей виноградных насаждений, совершенствование сортимента винограда столовых и технических сортов созданием новых высокотехнологичных питомников, совершенствование агротехнологий, решение вопросов управления ресурсами климата, связанного с регулированием влияния метеорологических факторов на процессы роста, развития, формирования урожая повышение урожайности винограда, его качества и устойчивости производства с учетом зональности и сортовых особенностей. На современном этапе рассмотрение и решение этих вопросов как никогда актуально.

Задача обеспечения высококачественными корнесобственными саженцами с удлиненным штамбом является важной для развития виноградарства в Нижневолжском регионе. В условиях высоких температур и низкой влажности воздуха черенки быстро теряют влагу, поэтому саженцы следует выращивать удлиненными черенками (0,40-0,45 м). Развитие почки опережает развитие корней. В результате процент приживаемости получается довольно низкий.

Для решения этой проблемы нами проведены исследования, направленные на разработку технологии комбинированного орошения по управлению параметрами фитоклимата на посадках виноградной школки.

Цель исследований – изучить параметры роста и развития саженцев винограда при капельном и комбинированном орошении, определить оптимальную схему посадки для получения максимального выхода элитных саженцев винограда в условиях климата Нижнего Поволжья.

Исследования проводились в фермерском хозяйстве «Садко» и ИП «Шишлянниковой М.В.» Дубовского района Волгоградской области в 2015 – 2017гг. Опыты проводили на посадках саженцев винограда сортов Красностопзолотовский, Каберне совиньон и Мерло по двухфакторной схеме: фактор А- системы орошения, фактор В- плотность посадки виноградных черенков.

По фактору А предусмотрено два варианта: А1- выращивание саженцев винограда на капельном орошении; А2- выращивание саженцев винограда на комбинированном орошении. На каждом из вариантов орошения исследовали три варианта густоты посадки: В1- посадка черенков винограда в строчке через 0,13 м (101 тыс./га); В2 - через 0,10 м (132 тыс./га); В3 – через 0,07 м (188 тыс./га).

Предполивную влажность почвы поддерживали на уровне 90% НВ в период «от посадки черенков до начала активного роста побегов». В период «от начала активного роста побегов до начала вызревания побегов» - 80%НВ. От начала вызревания побегов до уборки – 60%НВ в 0,5 м слое почвы. Уровень минерального питания поддерживался внесением минеральных удобрений дозой N60 P60 K60. Режим капельного орошения по поддержанию почвенной влажности и уровень минерального питания во всех вариантах опыта одинаков.

Посадку черенков проводили на грядах в две строчки на расстоянии 0,25 м между строчками. Гряды высотой 0,20 м. и шириной 0,40 м. покрывали черной полиэтиленовой пленкой. Черенки винограда до высадки в хранили в поле при температуре 0 – 2⁰С и относительной влажности близкой к 100%. Перед посадкой черенки вымачивали в холодной(12-15⁰С) воде в течение 12 часов и нарезали длиной 0,40 – 0,45 м. Кильчевание, бороздование и обработка стимуляторами роста не проводились. Высадку черенков проводили, когда температура почвы прогревалась на глубине 0,20 м до 10-12⁰С [7].

Опыт заложен методом организованных повторений. Повторность опыта четырехкратная. В пределах повторений варианты опыта расположены рендомизированно. Площадь учетных делянок - 30м², что соответствует 20 погонным метрам двустрочного ряда. Почва опытного участка светло - каштановая легкосуглинистая, типичная для региона. Обеспеченность почвы легкогидролизуемым азотом низкая, а подвижным фосфором и калием средняя. Плотность сложения в пахотном слое 1,13 – 1,17т/м³.

Выращивание элитных саженцев - одна из задач создания адаптивной технологии укрывного виноградарства в Поволжском регионе. Такая технология обеспечивает закладку высокопродуктивных, долговечных виноградников с ранним сроком вступления в плодоношение. Существующий общепринятый стандарт саженцев для закладки таких виноградников, к сожалению, не подходит. В этой связи к элитным саженцам предъявляются повышенные требования. Длина штамба с вызревшей частью побега должны быть не менее 0,6 м, количество корней более 2 мм равномерно распределенных по окружности, не менее четырех. Такими параметрами руководствовались при определении элитных саженцев в данных исследованиях.

Экспериментальный участок оснащен системой комбинированного орошения. В комплект комбинированного орошения входит капельное и спринклерное орошение.

Капельное орошение состоит из полного комплекта фирмы «НЕТАФИМ».

Фильтростанция состоит из однокамерного фильтра грубой очистки (песчанно-гравийный фильтр производительностью 25м³/ч) и фильтра тонкой очистки (пластиковый дисковый фильтр) последовательно соединенных. Гравийный фильтр рассчитан на ручной режим обратной промывки. Узел внесения удобрений емкостного типа объемом 80 литров. Трубопроводы представлены полиэтиленовыми трубами 63 и 50 мм, заложенными на глубину 0,65 м. Регуляторы давления 4U поддерживают давление в режимах 1,5- 2,5 атмосферы. Клапан выпуска воздуха (вантуз) расположен в самом высоком месте трубопровода после фильтростанции. Система оснащена счетчиком воды и манометрами. Капельные линии диаметром 16мм с компенсированными капельницами через 30 сантиметров и расходом 1,2 л/ч. Эти капельные линии обеспечивают высокую равномерность вылева по длине ряда. На экспериментальном участке разность вылева не превышает 4%, что обеспечивает достоверность результатов эксперимента.

Капельное орошение выполняет задачу поддержания запланированных уровней влажности почвы и минерального питания за счет фертигации.

Спринклерное орошение представлено мини дождевателями 5022-U (желтый) фирмы «Наан-Дан-Джейн» с кулачковыми рефлекторами для полива с их расстановкой 10х12 метров. Расход воды для регулирования фитоклимата посадок 3 мм/ч (0,5 м³/мин.) при давлении 2,5 атм. Дождеватели закреплены на стойках через 10 метров, соединены с полиэтиленовым трубопроводом диаметром 40 мм с помощью микро трубки и коньектора. Расстояние между линиями 12 метров.

Спринклерное орошение работает в режиме, обеспечивающем эффективное снижение негативного действия таких стрессорных факторов, как высокая температура воздуха, поверхностный слой почвы, листовой поверхности черенков, повышение относительной влажности воздуха в среде растений. Спринклеры работали от посадки черенков до начала активного роста побегов (период полного укоренения черенков 25 дней) в режиме 5 минут работы, один час пауза. Работа спринклеров продолжалась с 10 часов утра до 18 часов вечера (в период активного солнечного излучения, когда температура поверхности черенков и почек значительно превышает температуру окружающего воздуха). В дальнейшем саженцы выращивались только на капельном орошении.

В результате наблюдений за ростом и развитием виноградных саженцев было подтверждено предположение о негативном влиянии стрессорных факторов континентального климата Нижней Волги. Критической фазой при выращивании виноградной школки является период от посадки до начала активного роста побегов. В этой связи на приживаемость черенков положительное влияние оказало регулирование параметров фитоклимата проведением спринклерного орошения, которое снимало температурный стресс и повышало относительную

влажность в зоне растений. В свою очередь, за счет капельного орошения, поддерживалась высокая относительная влажность в зоне корнеобразования. Таким образом, выявлено преимущество применения комбинированного орошения перед традиционным, капельным орошением при выращивании виноградной школки. Выявлены закономерности роста и развития саженцев и сделаны основные выводы. В вариантах опыта, как на капельном орошении, так и на комбинированном не выявлена значимая зависимость приживаемости черенков от густоты посадки. При капельном орошении во всех вариантах опыта приживаемость составила около 70% без существенных отклонений. При комбинированном орошении, в вариантах опыта так же не выявлена зависимость приживаемости от густоты посадки, но в сравнении с капельным орошением процент приживаемости был выше (80-87%), что указывает на эффективность использования комбинированного орошения (табл. 1).

При анализе влияния густоты посадки на выход элитных саженцев выявлено следующее. Наибольший выход элитных саженцев достигнут в вариантах опыта на комбинированном орошении при густоте посадки 132 тыс.шт./га и 188 тыс.шт./га составил соответственно 92846 шт./га и 93386шт/га (табл. 2). Кроме этого в этих вариантах наблюдалось наиболее продуктивное использование влаги.

При небольшой разнице выхода саженцев в этих вариантах в варианте опыта А2 - Б3 с густотой посадки 188 тыс./га, перерасход черенков по сравнению с вариантом А2 – В2 с густотой посадки 132 тыс./га составил более 40 тыс./га, что негативно повлияет на экономическую эффективность производства. Таким образом самым эффективным вариантом оказался вариант оказался А2 – В2 на комбинированном орошении с густотой посадки 132тыс/га. Расстояние между черенками 10 см. можно рассматривать наиболее оптимальное.

Более редкая посадка ведет к усилению роста и развития саженцев, что значительно повышает их качество, но приводит к снижению выхода саженцев с единицы площади и неэффективному использованию поливной воды. Более густая посадка повышает выход саженцев с единицы площади, но снижает качество саженцев и приводит к перерасходу посадочного материала.

В 2015-2017 гг. на лучшем варианте были продолжены исследования по технологии комбинированного орошения на посадках виноградной школки. Для исследования были отобраны виноградные черенки наиболее востребованных сортов винограда на юге Российской Федерации: Мерло, Красностопзолотовский, Каберне Совиньон. Показатели приживаемости черенков и их развитие представлены в таблицах 1.2-1.3. Данные представлены нами в среднем за 2015-2017 гг. по рассматриваемым сортам, так как разница по этим показателями статистически недостоверна. После детальной обработки первичного материала эти материалы будут представлены в заключительном отчете.

Таблица 1 - Показатели приживаемости черенков и выхода элитных саженцев винограда в вариантах опыта, (2015 – 2017 г.г.)

	2015				2016				2017			
	Количество принявшихся саженцев, шт.	Доля от посаженных, %	Количество элитных саженцев, шт.	Доля от посаженных, %	Количество принявшихся саженцев, шт.	Доля от посаженных, %	Количество элитных саженцев, шт.	Доля от посаженных, %	Количество принявшихся саженцев, шт.	Доля от посаженных, %	Количество элитных саженцев, шт.	Доля от посаженных, %
А1(Капельное) В1 (101тыс/га)	77360	76,6	71100	70,4	74020	73,3	71700	70,9	72550	71,8	70200	69,5
А1(Капельное) В2 (132 тыс/га)	97500	73,8	92020	69,7	95690	72,5	91430	69,3	94440	71,5	87700	66,4
А1(Капельное) В3 (188тыс/га)	133520	71,0	91360	48,6	131800	70,1	90490	48,1	130670	69,5	85970	45,7
А2 (Комбиниров.) В1 (101тыс/га)	87460	86,6	79090	78,3	90100	89,2	84320	83,5	85100	84,2	76220	74
А2 (Комбиниров.) В2 (132тыс/га)	112280	83,0	103450	78,4	112060	84,9	91800	71,4	116000	87,8	101130	69
А2 (Комбиниров.) В3 (188 тыс/га)	151720	80,7	97250	51,7	152410	81,1	94370	50,2	150910	80,2	96800	48

Таблица 2 Показатели развития элитных саженцев винограда по вариантам опыта (2015-1017 гг.)

Варианты опыта	Выход саженцев		Длина вызревшего побега, см	Кол-во корней более 2 мм	Диаметр побега у основания, мм
	всего	элитных			
A1(Капельное) B1 (101тыс/га)	74643	71000	43	13	8,2
A1(Капельное) B2 (132 тыс/га)	95877	90383	40	10	8.1
A1(Капельное) B3 (188тыс/га)	1131997	89273	31	8	6,5
A2 (Комбини- ров.) B1 (101тыс/га)	87553	79877	42	14	8,9
A2 (Комбини- ров.) B2 (132тыс/га)	128113	98793	39	11	8,5
A2 (Комбини- ров.) B3 (188 тыс/га)	151680	98140	30	9	6,7

Список использованных источников

1. Овчинников А.С., Бородычев В.В., Храбров М.Ю., Гуренко В.М. Перспективы развития виноградарства и виноделия в Нижневолжском регионе/Известия Нижне-Волжского агроуниверситетского комплекса, 2015. - № 1(3). – С. 6-13.
2. Потапенко А.И. Будущее российского виноградарства начинается сегодня//Виноделие и виноградарство. 2003. - № 4- С. 18-19.
3. Бородычев В.В., Гуренко В.М., Майер А.В., Шишлянникова М.В., Акимова Т.С.Комбинированное орошение земляники/ Ж. Проблемы развития АПК региона. ДагГАУ, г. Махачкала. - 2016, №1 (25) ч.2. – С. 25-29.
4. Овчинников А.С., Бородычев В.В, Храбров М.Ю., Гуренко В.М., Майер А.В. Комбинированное орошение сельскохозяйственных культур / Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование//2015. № 2 . – выпуск 1(37). – С. 6-15.
5. Концепция развития виноградарства и виноделия в Российской Федерации на период 2016-2020 годов и плановый период до 2025 года. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации/ Москва, 2016. – 65 с.
6. Оганесянц Л.О. О состоянии виноградарства и виноделия РФ/Виноделие и виноградарство, 2013. - № 1. – С. 4-6.
7. Козлов В.Д., Сухарев Ю.И., Бородычев С.В., Гуренко В.М., Салдаев А.М., Бородычев В.В. Способ выращивания корнесобственных саженцев винограда и машина для его осуществления. Патент РФ на изобретение № 2411716 от 20 февраля 2011 г по заявке № 2009126292 от 10 июля 2009 г. Опубликовано 20.02 2011, бюл. № 5.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НИЖНЕЙ КУБАНИ

Бубер А.А., Гетьман Е.Н., Енакаева В.Р., Попова Н.М., Хомутов Ю.А.
ФБГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Для решения проблемы оптимизации водообеспечения и водопользования на гидромелиоративной системе Нижней Кубани разработана гидродинамическая модель в программном комплексе MIKE 11 (Датского гидравлического института). В качестве объекта моделирования был взят мелиоративно-водохозяйственный комплекс рисовых оросительных систем, расположенный в бассейне Нижней Кубани, состоящий из следующих водотоков и водохранилищ: р. Кубань, рук. Протока, водохранилища Краснодарское, Шапсугское, Крюковское, Варнавинское, Крюковский соединительный канал, Варнавинский сбросной канал. Модель была откалибрована и проверена на натуральных данных.

Ключевые слова: ВОДОБЕСПЕЧЕНИЕ, ГИДРОМЕЛИОРАТИВНАЯ СИСТЕМА, р. КУБАНЬ, ВОДОРЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ, ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ВОДНЫЙ РЕЖИМ ЗЕМЕЛЬ, ВОДНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ, ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В MIKE 11, КАЛИБРОВКА МОДЕЛИ.

Введение

Объектом регулирования является нижнее течение реки Кубань и ее дельтового рукава Протока на участке от Краснодарского водохранилища до Азовского моря.

Сток нижнего течения р. Кубань регулируется Краснодарским водохранилищем. Сток притоков регулируется Шапсугским, Крюковским и Варнавинским водохранилищами. Сбросные расходы воды из Шапсугского водохранилища поступают непосредственно в р. Кубань ниже Краснодарского водохранилища. В настоящее время Шапсугское водохранилище находится на реконструкции и, поэтому, работает на прямотоке. Сбросные расходы воды из Крюковского и Варнавинского водохранилищ поступают соответственно в Крюковский и в Варнавинский сбросные каналы и в р. Кубань на ее дельтовом участке. На всем протяжении Варнавинский сбросной канал принимает дополнительно сток ряда малых водотоков. Река Кубань и ее рукав Протока практически на всей длине рассматриваемого участка обвалованы для защиты прилегающих территорий и населенных пунктов от затопления паводковыми водами.

Выше дельтовой зоны на р. Кубань находится Федоровский гидроузел – подпорная плотина, обеспечивающая самотечный забор воды в магистральные каналы крупных оросительных систем. В 2005 году введен в действие Тиховский

вододелитель – подпорная плотина в вершине дельты, которая обеспечивает требуемое деление расходов воды между рукавами Кубань и Протока, и осуществляет водозабор в ПАОС.

Регулирование водохранилищами половодного и паводкового стоков, а также система дамб обвалования не обеспечивают гарантированной защиты, особенно при совпадении прохождения паводков по р. Кубань и на ее левобережных притоках. Кроме того, положение с защитой от затопления на устьевых участках р. Кубань и р. Протока осложняется имеющимися место ветровыми нагонными явлениями со стороны Азовского моря, а также заторно-зажорными явлениями в периоды вскрытия рек и прохождения весеннего половодья. Для принятия стратегических решений и решений в оперативном режиме по пропуску дождевых паводков и половодий высокой водности, а также для выработки требований к конструктивным параметрам защитных гидротехнических сооружений необходима постоянная оценка в динамике уровня режима в зависимости от прогнозных или фактических данных о расходах воды на рассматриваемых участках р. Кубань и р. Протока, а также осложняющих пропуск высоких вод нагонных явлений, заторов и зажоров.

Гидрография и гидрология

В данной работе под Нижней Кубанью подразумевается р. Кубань (с дельтовым рукавом Протока) между створом плотины Краснодарского водохранилища и Темрюкским заливом Азовского моря, а также водные объекты Закубанского массива, включая Крюковское и Варнавинское водохранилища.

Среднегодовой сток левобережных протоков р. Кубань ниже Краснодарского гидроузла зарегулирован тремя водохранилищами – Шапсугским, Крюковским, Варнавинским, а также рядом малых водохранилищ и прудов.

Питание рек, формирующих сток р. Кубань, - смешанное. Для режима рек Нижней Кубани характерны осенне-зимние паводки и устойчивая летняя межень, изредка нарушаемая дождевыми половодьями. За период осенне-зимних паводков проходит 75-80% годового стока, суммарный средний сток рек по этому району составляет около 1 км³. Максимальные расходы воды и объемы половодья р. Кубань (створ - г. Краснодар), контролируемые Краснодарским водохранилищем, даны в таблице 1.

В период естественного режима р. Кубань сохранялась высокая степень вероятности совмещения максимальных расходов Закубанских рек с максимумами р. Кубани. В период прохождения половодья наиболее вероятно было сложение максимумов летних паводков.

Существовала также высокая степень совмещения осенне-зимних паводков. После строительства Краснодарского водохранилища пики половодий срезаются. Наибольшей срезке подвергаются пики осенне-зимних паводков. Максимальный сброс из Краснодарского водохранилища зафиксирован в июле 1987 года – 1400 м³/с.

Таблица 1- Характеристика расходов и стоков половодья р. Кубань, контролируемых Краснодарским водохранилищем

Характеристика расходов и стоков	Обеспеченность, %				
	0,01	0,1	0,5	1	3
Основная волна половодья (t=60 суток)					
Максимальные среднесуточные расходы воды, м ³ /с	3860	3200	2740	2530	2200
Объемы стока, млн. м ³	8920	7920	7180	6830	6260
Зимние паводки (t=30 суток) за декабрь-март					
Максимальные среднесуточные расходы воды, м ³ /с	3580	2980	2550	2350	2020
Объемы стока, млн. м ³	3450	2970	2620	2450	2160

Гидротехнические сооружения Нижней Кубани

В водохозяйственных целях на реках Нижней Кубани построено четыре водохранилища: Краснодарское (КГУ) на р. Кубань выше г. Краснодар, примерно, в 245 км от устья и три - на ее притоках, так называемых Закубанских реках: Шапсугское (ШГУ), Крюковское (КГУ+КСК) и Варнавинское (ВГУ+ВСК) водохранилища. На р. Кубань выше ее дельтовой части функционирует Федоровский (ФГУ) гидроузел, который обеспечивает самотечный забор воды в магистральные каналы крупных оросительных систем. В 2005 г. введен в действие Тиховский (ТГУ) гидроузел, выполняющий функции вододеления между Кубанью и Протокой.

Ниже Тиховского гидроузла на р. Кубань (ПК1294+00) расположен водозабор в оросительную систему ПАОС (после реконструкции НС он будет демонтирован) с отбором воды до 70 м³/с, еще ниже (ПК1903+00) – водозабор в ККОС с отбором воды 180 м³/с. На ПК1963+50 в р. Кубань впадает Варнавинский сбросной канал с пропускной способностью 340 м³/с.

На р. Протока ПК300+00 (от его отделения от р. Кубань) расположен водозабор в оросительную систему ЧОК с расходом воды до 40 м³/с. Ниже ПК540+00 – водозаборы АГОС-I и АГОС-II с суммарным отбором воды – 40 м³/с.

В настоящее время почти все берега Нижней Кубани обвалованы дамбами. Они рассчитаны на пропуск 1500 м³/с. Их строительство начато еще в 30-е годы прошлого столетия. Большой срок эксплуатации дамб при ненадлежащем уходе, влияние на их состояние антропогенного фактора, изъятие местных строительных материалов в зоне отчуждения реки, размыв дна и подмыв берегов русла реки, деформации русла в плане, в значительной степени снизило надежность сооружений. В настоящее время система защиты Нижней Кубани способна безаварийно пропустить суммарный расход из КГУ и ШГУ 1200 м³/с.

Мелиоративные системы Нижней Кубани

В среднем и нижнем течении р. Кубани построены крупные оросительные и оросительно-обводнительные мелиоративные системы, преимущественно для нужд рисосеяния. Рисовый мелиоративный комплекс, является наиболее весомой составляющей общего водохозяйственного комплекса Кубани.

Этот комплекс представлен достаточно крупными водохранилищами, гидротехническими регулирующими сооружениями и современными инженерными мелиоративными системами, имеющими общую подающую и отводящую межхозяйственную сеть с нерисовыми орошаемыми площадями. Внутрихозяйственная сеть рисосеющих хозяйств неразрывно связана с ними. Для осуществления водоотбора на мелиоративных системах имеются головные водозаборы, точки водовыдела в хозяйства, а также регулирующие сооружения. Для регулирования режима в коллекторно-дренажной и сбросной сети используются аналогичные регулирующие сооружения. Среди головных водозаборов имеются самотечные и с механической подачей [1-4].

Головных водозаборов, задающих гидрологический режим Нижней Кубани немного: это приплотинные головные водозаборы Фёдоровского гидроузла и головной водозабор ПАОС. В некоторых случаях при ограниченной подаче воды приходится учитывать условия расчетного уровня режима для головного сооружения самотечного магистрального канала (СМК) ЧОРС. На рисунке 1 представлена схема расположения мелиоративных систем Нижней Кубани.

Объект моделирования и исходные данные

В качестве объекта моделирования был выбран участок реки Кубань (Нижняя Кубань) расположенный между верхним бьефом Краснодарского водохранилища и Азовским морем, включающий в себя:

- Краснодарское водохранилище;
- р. Кубань от Краснодарского гидроузла до места впадения в Азовское море (описывается поперечными сечениями);
- Шапсугское водохранилище;
- Федоровский гидроузел;
- Тиховский гидроузел (вододелитель);
- рукав Протока от точки бифуркации до места впадения в Азовское море (описывается поперечными сечениями);
- Крюковское водохранилище;
- Крюковский соединительный канал;
- Варнавинское водохранилище;
- Варнавинский сбросной канал.

ФОС - Фёдоровская оросительная система
 КОС - Кубанская оросительная система
 МЧОС - Марьяно-Чебургольская оросительная система
 ПКОС - Понуро-Калининская оросительная система
 ЧОРС - Черноерковская оросительная рисовая система
 ПАОС - Петровско-Анастасиевская оросительная система
 ТОС - Темрюкская оросительная система
 КРОС - Крюковская оросительная система
 ВОС - Варнавинская оросительная система
 АОС - Афипская оросительная система

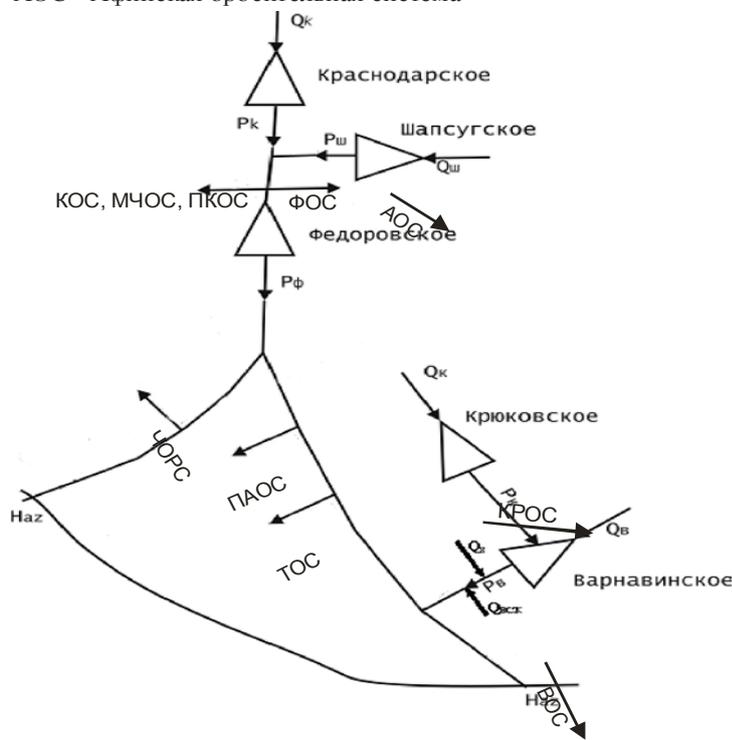


Рисунок 1 - Схема расположения мелиоративных систем Нижней Кубани

Положение кривых свободной поверхности воды в реках, показанное на продольных профилях, было определено для установившегося режима вышеуказанных расходов путем снятия отметок уровней воды с кривых связей $Q = f(H)$ для ряда водопостов. При этом влияние подпора и перепадов уровней на Федоровском гидроузле не учитывались.

Следует иметь в виду, что внутри участков рек между водомерными постами может иметь место довольно значительное искривление свободной водной поверхности за счет изменения конфигурации поперечных сечений, а также шероховатости русла (или русел + поймы).

4. Писанные профили около 200 поперечных сечений:

- участок р. Кубань между Краснодарским гидроузлом и в/п Тиховский – 66;

- участок р. Кубань между в/п Тиховский и устьем – 65

- участок р. Протока между в/п Тиховский и устьем - 72

5. Кривые связи уровней и расходов воды $Q = f(H)$ для водомерных постов на реках Кубань и Протока.

6. Правила эксплуатации Краснодарского водохранилища в Краснодарском крае. М., 1983.

7. Краснодарское водохранилище на р. Кубани. Правила эксплуатации. Кубаньводпроект, Краснодар, 2001 г.

8. Режим пропуска основной волны половодья и паводков на Краснодарском водохранилище, МПР РФ, 2004.

9. Правила эксплуатации Варнавинского водохранилища в Краснодарском крае, Москва, 1983 г.;

10. Правила эксплуатации Крюковского водохранилища в Краснодарском крае, Москва, 1983 г.;

11. Поперечные профили по Крюковскому соединительному каналу от Абинского ЭМГУ;

12. Поперечные профили по Варнавинскому сбросному каналу от Северского ЭМГУ;

13. Продольный профиль по ВСК от Северского ЭМГУ;

Разработка компьютерной модели в среде MIKE 11

Для создания гидродинамической модели в среде MIKE 11 была разработана расчетная схема (рис. 2), включая гидрографическую сеть Нижней Кубани, имеющиеся водохранилища (Краснодарское, Шапсугское, Крюковское, Варнавинское), Федоровский и Тиховский гидроузлы, все места заборов и сбросов по каналам и насосным станциям оросительных систем.

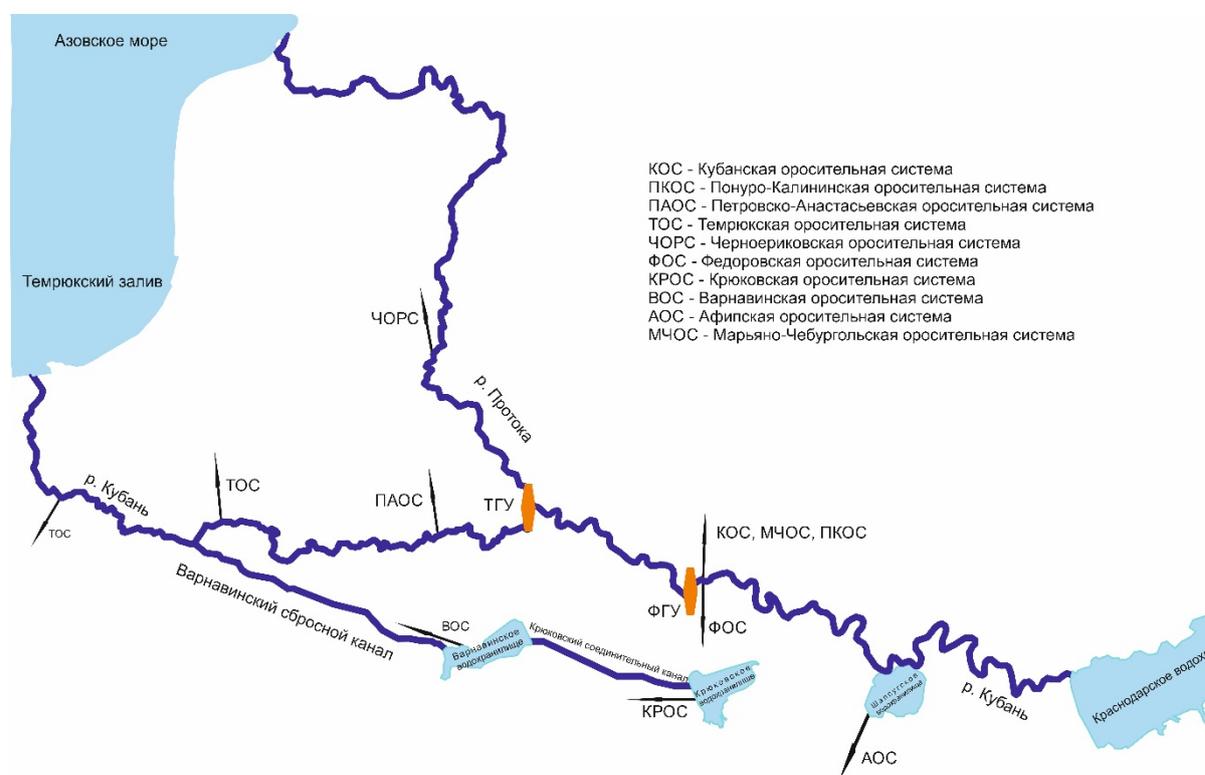


Рисунок 2 – Расчетная схема р. Кубань и рук. Протока

Исходные материалы обработаны в Excel и конвертированы в базу данных редакторов компьютерной среды MIKE 11 [5-8].

Первым шагом при создании модели является оцифровка планового положения речной сети на карте-подложке Нижней Кубани. В процессе оцифровки устанавливаются точные значения расстояний между соседними пикетами по лоцманской карте (рис. 3).

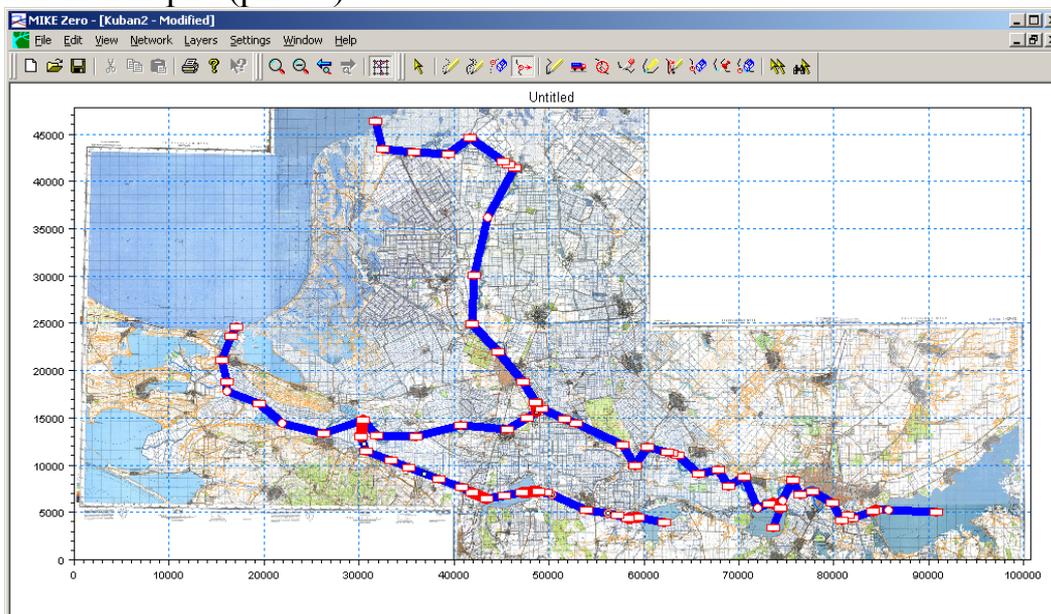


Рисунок 3– Плановое положение речной сети Нижней Кубани

На втором этапе моделирования в среде MIKE 11 для каждого расчетного пикета вводятся координаты поперечных сечений и выполняется расчет всех гидравлических характеристик поперечников для принятых уровенных режимов (площадь сечения, ширина поверху, гидравлический радиус, гидравлическая расходная характеристика). На рисунке 4 приведен фрагмент введенной и обработанной информации для поперечников.

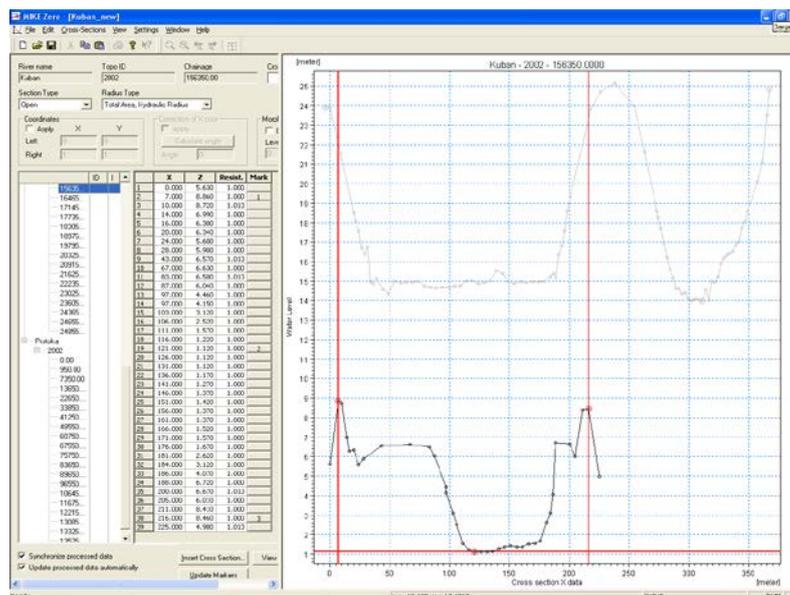


Рисунок 4 – База данных поперечников - первичные данные

На третьем этапе моделирования вводятся граничные условия, определяющие объем заборов и сбросов в речную сеть и условия сопряжения речной сети с Азовским морем. На рисунке 5 показана привязка гидрографов к речной сети.

	Boundary Description	Boundary Type	Branch Name	Chainage	Chainage	Gate ID	Boundary ID
1	Structures	Regulating Structure	Krasn_vdxx	2500	0	2004	
2	Point Source	Inflow	Kuban	94000	0		
3	Point Source	Inflow	Kuban	94200	0		
4	Point Source	Inflow	Kuban	131250	0		
5	Point Source	Inflow	Kuban	133350	0		
6	Point Source	Inflow	Kuban	192800	0		
7	Point Source	Inflow	Kuban	229850	0		
8	Open	Water Level	Kuban	250150	0		
9	Open	Water Level	Protoka	135250	0		
10	Point Source	Inflow	Protoka	30950	0		
11	Point Source	Inflow	Protoka	56950	0		
12	Point Source	Inflow	Protoka	71350	0		
13	Point Source	Inflow	Protoka	83650	0		
14	Point Source	Inflow	Protoka	92450	0		
15	Point Source	Inflow	Protoka	95950	0		
16	Point Source	Inflow	Protoka	115950	0		
17	Open	Inflow	Krasn_vdxx	0	0		
18	Structures	Regulating Structure	Protoka	475	0	2006	
19	Open	Inflow	Shap_vdxx	0	0		
20	Structures	Regulating Structure	Shap_vdxx	3750	0	03	
21	Open	Inflow	Kryk_vdxx	0	0		
22	Structures	Regulating Structure	Kryk_vdxx	4000	0	01	
23	Structures	Regulating Structure	Var_vdxx	5500	0	02	
24	Point Source	Inflow	Var_vdxx	100	0		
25	Point Source	Inflow	VSK	9000	0		
26	Point Source	Inflow	VSK	30000	0		
27	Point Source	Inflow	VSK	25000	0		

	Data Type	TS Type	File / Value	TS Info
1	Discharge: [m ³ /s]	TS File	TSM/Q-2500.dfs0 ... Edk Q	

Рисунок 5 – Файл привязки всех заборов и сбросов на Нижней Кубани

На четвертом этапе моделирования вводятся начальные условия и базовые коэффициенты шероховатости, которые в дальнейшем уточняются при калибровке.

На пятом этапе модель калибруется по имеющимся кривым Q/h в соответствующих водопостах для различных расходов (от 100 м³/с до 1700 м³/с).

На рисунке 6 показаны кривые свободной поверхности при одном из вариантов калибровки (расходы 500 и 200 м³/сек по Кубани, 300 м³/сек по Протоке).

В результате калибровки получены адекватные наблюдениям русловые шероховатости и поправочные коэффициенты для вертикальной составляющей руслового потока по поперечникам.

На шестом этапе в разработанную модель вводятся гидротехнические сооружения.

Краснодарское, Крюковское, Варнавинское и Шапсугское водохранилища задаются батиметрическими функциями для условного поперечника в верхнем бьефе гидроузла.

Сбросные сооружения на гидроузлах задаются в модели как управляемые сооружения или как регулируемые водовыпуски, расход через которые задает пользователь вручную. Таким образом, в модели имеется возможность регулирования сбросов, как в автоматическом режиме по правилам близким к диспетчерским графикам и принятой стратегией управления высокими половодьями,

Для этого Нижняя Кубань разбивалась на три участка: участок I – от створа Краснодарского водохранилища до створа в/п Тиховский (128,05 км от КГУ); участок II - от створа в/п Тиховский до устья; участок III - рукав Протока.

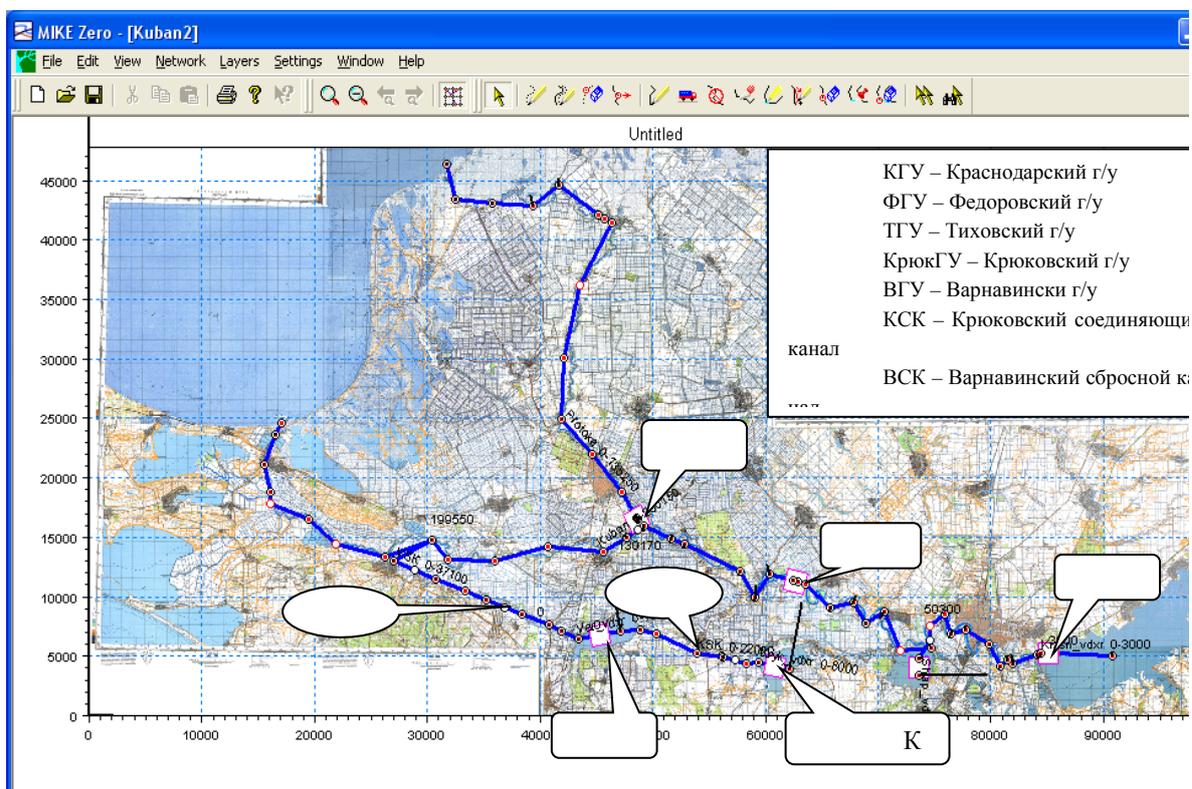


Рисунок 7 – Схема речной сети Нижней Кубани

Калибровка проводилась для реки в естественных условиях (т.е. когда отсутствуют все заборы и сбросы) в два этапа. На первом этапе были подобраны базовые коэффициенты шероховатости по всей длине р. Кубани и рукава Протока. Для этого использовались данные функций $Q = f(h)$ Кубаньводпроекта по водопостам для больших расходов. Калибровка гидравлических параметров выполнялась:

- на участке I-ом по 19 расчетным створам на пропуск расхода $1000 \text{ м}^3/\text{с}$;
- на участке II-ом по 11 расчетным створам на пропуск расхода $400 \text{ м}^3/\text{с}$;
- на участке III-ем по 12 расчетным створам на пропуск расхода $400 \text{ м}^3/\text{с}$.

В результате калибровки за счет подбора базовых коэффициентов шероховатости невязка между фактическими наблюдаемыми уровнями воды при заданном расходе и рассчитанными уровнями воды по модели не превышала $\pm 5 \text{ см}$.

На втором этапе калибровки использовались данные функций $Q = f(h)$ Кубаньмелиоводхоза по водопостам для малых расходов.

Расчеты выполнялись:

- на I-ом участке по 4 расчетным створам (в/п НБ КГУ, в/п Краснодар КРЭС, в/п ФГУ НБ и в/п Тиховский) для расходов от $300 \text{ м}^3/\text{с}$ до $1700 \text{ м}^3/\text{с}$;

- на II-ом участке по 5 расчетным створам (в/п Сербин, в/п Троицкое, в/п Варенниковский, в/п Зайцево колено и в/п Темрюк) для расходов от 100 м³/с до 900 м³/с;

- на III-ем участке по 3 расчетным створам (в/п Славянск-на-Кубани, в/п Гривенская, в/п Слободка) для расходов от 150 м³/с до 900 м³/с.

Для калибровки модели были использованы таблицы зависимостей Q/h, полученные на основе наблюдений в последние годы.

Результаты калибровки приведены в таблицах 2, 3, 4.

Таблица 2 – Результаты калибровки для русла реки Кубань

Результаты калибровки по р. Кубань								
№ створа	1	11	51	66	1	11	51	66
Расстояние от Краснодарского т/у, м	0	16300	98300	129650	0	16300	98300	129650
	Расход 300 м³/с				Расход 400 м³/с			
Уровень по кривой связи Q(H), м	17,30	16,53	8,76	6,35	17,82	17,00	9,23	6,79
Уровень по расчету, м	17,27	16,5	8,81	6,4	17,85	17,01	9,27	6,84
Разница, м	0,03	0,03	-0,05	-0,05	-0,03	-0,01	-0,04	-0,05
	Расход 500 м³/с				Расход 600 м³/с			
Уровень по кривой связи Q(H), м	18,27	17,40	9,69	7,20	18,63	17,78	10,12	7,58
Уровень по расчету, м	18,3	17,45	9,7	7,25	18,61	17,76	10,07	7,62
Разница, м	-0,03	-0,05	-0,01	-0,05	0,02	0,02	0,05	-0,04
	Расход 700 м³/с				Расход 800 м³/с			
Уровень по кривой связи Q(H), м	19,04	18,13	10,54	7,96	19,42	18,45	10,94	8,32
Уровень по расчету, м	18,99	18,16	10,5	7,97	19,4	18,45	10,94	8,32
Разница, м	0,05	-0,03	0,04	-0,01	0,02	0,00	-0,00	0,00
	Расход 900 м³/с				Расход 1000 м³/с			
Уровень по кривой связи Q(H), м	19,78	18,78	11,32	8,68	20,15	19,14	11,74	9,03
Уровень по расчету, м	19,73	18,8	11,27	8,7	20,15	19,16	11,75	9,01
Разница, м	0,05	-0,02	0,05	-0,02	0,00	-0,02	-0,01	0,02
	Расход 1100 м³/с				Расход 1200 м³/с			
Уровень по кривой связи Q(H), м	20,47	19,43	12,04	9,32	20,78	19,73	12,33	9,60
Уровень по расчету, м	20,45	19,47	12,01	9,33	20,75	19,74	12,33	9,59
Разница, м	0,02	-0,04	0,03	-0,02	0,03	-0,01	0,00	0,01
	Расход 1300 м³/с				Расход 1400 м³/с			
Уровень по кривой связи Q(H), м	21,10	20,03	12,59	9,85	21,40	20,31	12,85	10,10
Уровень по расчету, м	21,07	20,02	12,63	9,84	21,37	20,29	12,8	10,05
Разница, м	0,03	0,01	-0,04	0,01	0,03	0,02	0,05	0,05
	Расход 1500 м³/с				Расход 1600 м³/с			
Уровень по кривой связи Q(H), м	21,65	20,54	13,05	10,28	21,93	20,80	13,28	10,49
Уровень по расчету, м	21,64	20,57	13,02	10,26	21,9	20,84	13,29	10,45
Разница, м	0,01	-0,03	0,03	0,02	0,03	-0,04	-0,01	0,04
	Расход 1700 м³/с							
Уровень по кривой связи Q(H), м	22,20	21,05	13,50	10,70				
Уровень по расчету, м	22,15	21,01	13,55	10,65				
Разница, м	0,05	0,04	-0,05	0,05				

Таблица 3– Результаты калибровки для русла рукава Протока

Результаты калибровки модели по рук. Протока						
№ створа	8а	43а	67а	8а	43а	67а
Расстояние от Тиховского т/у, м	13650	75750	122150	13650	75750	122150
	Расход 150 м³/с			Расход 200 м³/с		
Уровень по кривой связи Q(H), м	4,89	1,64	0,1	5,35	2,22	0,37
Уровень по расчету, м	4,88	1,62	0,08	5,33	2,22	0,32
Разница, м	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,05
	Расход 250 м³/с			Расход 300 м³/с		
Уровень по кривой связи Q(H), м	5,79	2,78	0,62	6,25	3,23	0,85
Уровень по расчету, м	5,8	2,79	0,59	6,22	3,25	0,87
Разница, м	-0,01	-0,01	0,03	0,03	-0,02	-0,02
	Расход 350 м³/с			Расход 400 м³/с		
Уровень по кривой связи Q(H), м	6,63	3,63	1,06	7,00	4	1,26
Уровень по расчету, м	6,63	3,65	1,11	7,02	3,98	1,3
Разница, м	-0,00	-0,02	-0,05	-0,02	0,02	-0,04
	Расход 450 м³/с			Расход 500 м³/с		
Уровень по кривой связи Q(H), м	7,37	4,3	1,38	7,70	4,6	1,50
Уровень по расчету, м	7,39	4,29	1,4	7,75	4,62	1,51
Разница, м	-0,02	0,01	-0,02	-0,05	-0,02	-0,01
	Расход 550 м³/с			Расход 600 м³/с		
Уровень по кривой связи Q(H), м	8,03	4,8	1,60	8,30	5	1,70
Уровень по расчету, м	8,01	4,79	1,63	8,29	5	1,74
Разница, м	0,02	0,01	-0,03	0,01	0,00	-0,04
	Расход 650 м³/с			Расход 700 м³/с		
Уровень по кривой связи Q(H), м	8,55	5,15	1,78	8,77	5,3	1,85
Уровень по расчету, м	8,54	5,13	1,78	8,77	5,28	1,89
Разница, м	0,01	0,02	-0,01	-0,00	0,02	-0,04
	Расход 750 м³/с			Расход 800 м³/с		
Уровень по кривой связи Q(H), м	8,97	5,45	1,93	9,18	5,6	2,00
Уровень по расчету, м	9	5,46	1,95	9,2	5,56	2
Разница, м	-0,03	-0,01	-0,02	-0,02	0,04	0,00
	Расход 850 м³/с			Расход 900 м³/с		
Уровень по кривой связи Q(H), м	9,34	5,7	2,05	9,50	5,8	2,10
Уровень по расчету, м	9,34	5,67	2,06	9,53	5,82	2,12
Разница, м	0,00	0,03	-0,01	-0,03	-0,02	-0,02

Таблица 4 - Результаты калибровки для русла реки Кубань ниже рукава Протока

Результаты калибровки по р. Кубань ниже рук. Протока										
№ створа	67а	73а	104а	119а	127а	67а	73а	104а	119а	127а
Расстояние от Краснодарского т/у, м	131250	142250	199550	223950	237650	131250	142250	199550	223950	237650
	Расход 100 м³/с					Расход 150 м³/с				
Уровень по кривой связи Q(H), м	6,10	5,03	0,94	0,58	-0,06	6,65	5,67	1,79	0,91	0,18
Уровень по расчету, м	6,06	4,99	0,98	0,55	-0,04	6,63	5,68	1,83	0,93	0,2
Разница, м	0,04	0,04	-0,04	0,03	-0,02	0,02	-0,01	-0,04	-0,02	-0,02
	Расход 200 м³/с					Расход 250 м³/с				
Уровень по кривой связи Q(H), м	7,10	6,20	2,39	1,18	0,40	7,45	6,69	2,88	1,43	0,59
Уровень по расчету, м	7,08	6,21	2,38	1,2	0,44	7,45	6,68	2,84	1,47	0,64
Разница, м	0,02	-0,01	0,01	-0,02	-0,04	0,00	0,01	0,04	-0,04	-0,05
	Расход 300 м³/с					Расход 350 м³/с				
Уровень по кривой связи Q(H), м	7,75	7,12	3,28	1,67	0,78	8,10	7,51	3,60	1,92	0,96
Уровень по расчету, м	7,75	7,10	3,23	1,69	0,77	8,06	7,49	3,61	1,96	0,95
Разница, м	0,00	0,02	0,05	-0,02	0,01	0,04	0,02	-0,01	-0,04	0,01
	Расход 400 м³/с					Расход 450 м³/с				
Уровень по кривой связи Q(H), м	8,50	7,80	3,87	2,15	1,13	8,85	8,13	4,12	2,38	1,32
Уровень по расчету, м	8,45	7,83	3,88	2,20	1,18	8,81	8,12	4,14	2,42	1,34
Разница, м	0,05	-0,03	-0,01	-0,05	-0,05	0,04	0,01	-0,02	-0,04	-0,03
	Расход 500 м³/с					Расход 550 м³/с				
Уровень по кривой связи Q(H), м	9,20	8,40	4,36	2,60	1,50	9,50	8,70	4,56	2,77	1,63
Уровень по расчету, м	9,23	8,42	4,37	2,58	1,5	9,47	8,66	4,58	2,75	1,64
Разница, м	-0,03	-0,02	-0,01	0,02	0,00	0,03	0,04	-0,03	0,02	-0,01
	Расход 600 м³/с					Расход 650 м³/с				
Уровень по кривой связи Q(H), м	9,80	9,00	4,75	2,93	1,75	10,03	9,23	4,92	3,05	1,85
Уровень по расчету, м	9,75	8,96	4,80	2,94	1,80	9,97	9,17	4,94	3,04	1,83
Разница, м	0,05	0,04	-0,05	-0,01	-0,05	0,05	0,05	-0,03	0,01	0,02
	Расход 700 м³/с					Расход 750 м³/с				
Уровень по кривой связи Q(H), м	10,25	9,45	5,08	3,17	1,95	10,48	9,68	5,25	3,28	2,05
Уровень по расчету, м	10,24	9,47	5,11	3,15	1,91	10,44	9,67	5,29	3,28	2,06
Разница, м	0,01	-0,02	-0,03	0,02	0,04	0,04	0,01	-0,04	0,00	-0,01
	Расход 800 м³/с					Расход 850 м³/с				
Уровень по кривой связи Q(H), м	10,70	9,90	5,41	3,40	2,15	10,90	10,15	5,58	3,55	2,28
Уровень по расчету, м	10,69	9,94	5,41	3,42	2,15	10,88	10,13	5,61	3,59	2,3
Разница, м	0,01	-0,04	0,00	-0,02	0,00	0,02	0,02	-0,03	-0,04	-0,02
	Расход 900 м³/с									
Уровень по кривой связи Q(H), м	11,10	10,40	5,75	3,70	2,40					
Уровень по расчету, м	11,15	10,44	5,75	3,70	2,44					
Разница, м	-0,05	-0,04	0,00	0,00	-0,04					

Краткие выводы:

Для апробации разрабатываемой методики оптимального управления водоподачей в программном комплексе MIKE 11 была разработана гидродинамическая модель Нижней Кубани. В работе представлен весь цикл создания гидродинамической модели в среде MIKE 11.

Проведена калибровка модели по данным наблюдений на водопостах Нижней Кубани.

На основе гидродинамической модели был произведен анализ функционирования гидротехнических сооружений на рассматриваемых гидромелиоративных системах. Рассмотрены крупные оросительные и оросительно-обводнительные мелиоративные системы, преимущественно для нужд рисосеяния, т.к. рисовый мелиоративный комплекс, является наиболее весомой составляющей общего водохозяйственного комплекса.

Применение гидродинамического моделирования позволило обосновать, что отсутствие системы управления водными ресурсами и методики прогноза водности р. Кубань, приводит к непроизводительному использованию водных ресурсов.

В результате подбора поправочных базовых коэффициентов шероховатости невязка между фактическими наблюдаемыми уровнями воды при заданном расходе и рассчитанными уровнями воды по модели не превышала ± 5 см.

Список использованных источников

1. Мелиоративные системы и сооружения. СНиП 2.06.03.85. М.: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1985. –199 с.
2. Енакаева В.Р., Лурье М.В., Попова Н.М., Шукурова Л.А.- Перспективы развития мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в Волго-Ахтубинской пойме, дельте р. Волги и в ЗПИ /Материалы международной научно-практической конференции «Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения» (Костяковские чтения). Москва, 29-30 марта 2016 года.
3. Бубер А.А., Гетьман Е.Н., Хомутов Ю.А. Разработка Гидродинамической модели водотоков бассейна Нижней Кубани / Международная научно-практическая конференция «Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК», г. Москва, 5-6 октября 2017 г. –М.: ВНИИГиМ, 2017. С. 88-91.
4. Добрачев Ю.П., Бубер А.Л., Суханов Г.Н. Методические подходы к обоснованию развития и размещения водных мелиораций с учетом требований комплексного использования и охраны водных объектов // Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства в России: материалы международной конференции. – М.: ВНИИГиМ, 2013.
5. Бубер А.А., Бородычев В.В., Талызов А.А. /Разработка гидродинамической модели дельты реки Волга и Западных подступных ильменей/ Известия Нижневолжского Агроуниверситетского комплекса: «Наука и высшее профессиональное образование», выпуск № 2(46), 2017, Волгоград, Волгоградский ГАУ
6. Компьютерное моделирование речных потоков. Теоретические основы. М.: Научная консалтинговая фирма «Волга», 2013;
7. Компьютерное моделирование систем рек и каналов Mike11. М.: Научная консалтинговая фирма «Волга», 2013;

8. MIKE VIEW Создание презентаций/. Результатов моделирования MOUSE, MIKESWMM, MIKENET, MIKE11, MIKE URBAN/ М.: Научная консалтинговая фирма «Волга», 2013.

УДК 631.6, 631.95

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ И ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА НИЖНЕЙ КУБАНИ

Бубер А.А., Бубер В.Б.

ФБГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В настоящей статье приведен пример использования методов оптимизации водообеспечения и водопользования на гидромелиоративных системах для Водохозяйственного комплекса Нижней Кубани.

Ключевые слова: ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС, НИЖНЯЯ КУБАНЬ, ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, МАТРИЦА РЕШЕНИЙ, ЭПЮРЫ ГРАНИЦ ПАРЕТО

Введение

Объектом исследований являются гидравлически связанные гидромелиоративные системы, функционирующие в бассейнах крупных рек со сложной гидрологической обстановкой, расположенные на территории Южного Федерального округа и испытывающие дефицит водных ресурсов. Результаты исследований апробируются на гидромелиоративных системах Нижней Кубани, расположенных ниже Краснодарского водохранилища. Рассматриваются проблемы совместного функционирования всех водных объектов Нижней Кубани (Краснодарское, Шапсугское, Крюковское, Варнавинское водохранилища, Федоровский и Тиховский гидроузлы, р. Кубань, рук. Кубань и Протока, Крюковский сбросной канал, Варнавинский соединительных канал, Азовское море) и основных мелиоративных систем, находящихся в управлении ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» (Марьяно-Чебургольская, Понуро-Калинская, Кубанская МС). На основе разработанной математической модели и алгоритма решения задачи оптимального управления водными ресурсами бассейнов рек в интересах водопользователей АПК организован процесс опытного функционирования ГДМ и сформулирована методика многовариантных расчетов и анализа результатов оптимальной водоподачи на рисовые оросительные системы Нижней Кубани.

Пилотный проект использования методов оптимизации на примере водохозяйственного комплекса Нижней Кубани

Для демонстрации предлагаемых методов оптимизации водообеспечения и водопользования гидромелиоративных систем был рассмотрен участок Нижней Кубани (рис. 1), включающий:

- Краснодарское водохранилище, Федоровский и Тиховский гидроузлы (ФГУ, ТГУ);
- оросительные системы, расположенные выше ФГУ, осуществляющие забор воды из магистрального канала при приплотинной отметке ВБ ФГУ не ниже 13,4 м – КОС, МЧОС, ПКОС, ФОС;
- оросительная система, расположенная на рукаве Протока, осуществляющая забор воды из русла при отметке не ниже 7 м – ЧОРС;
- оросительная система, расположенная на рукаве Кубань (ниже ТГУ) осуществляющая забор воды из русла при отметке не ниже 6 м – ПАОС.

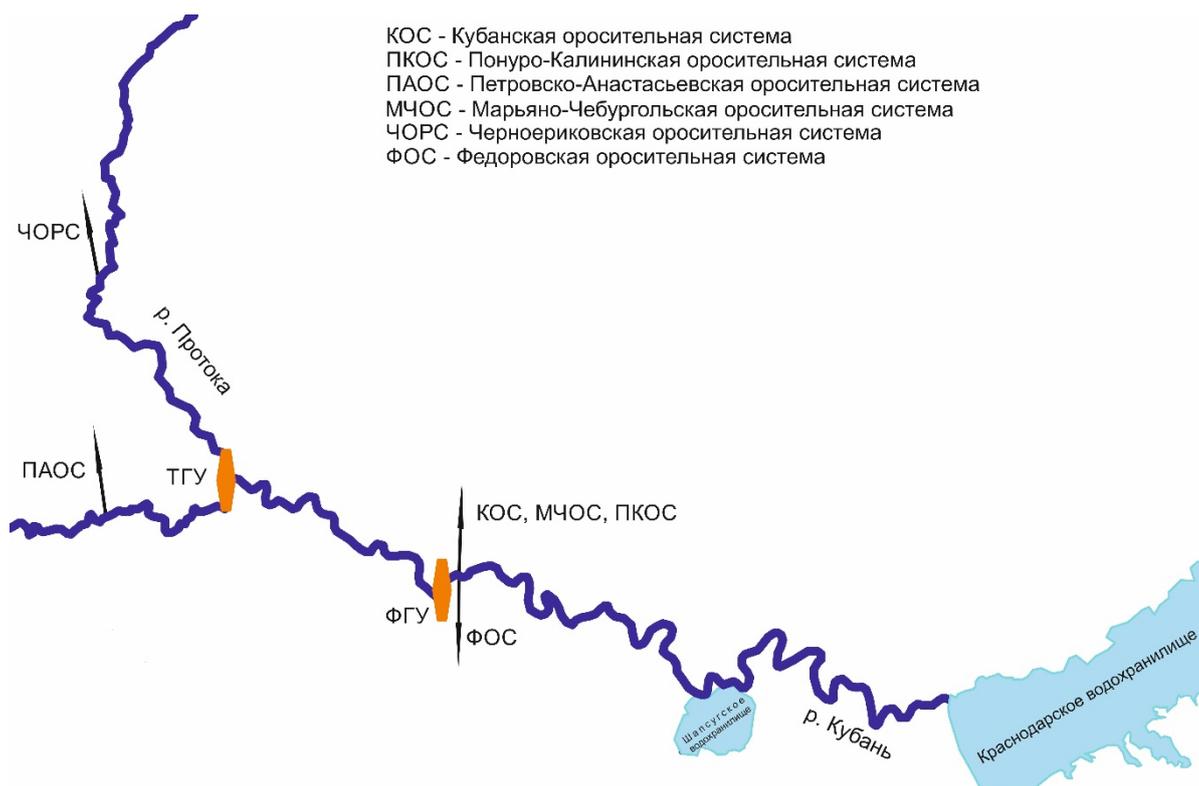


Рисунок 1 - Расчетная схема фрагмента, рассматриваемой ВХС
Нижней Кубани

Гидродинамическое моделирование проводилось на условных данных приточности к Краснодарскому водохранилищу близких к маловодному году [1-4]. В результате расчетов получилась следующая матрица решений (табл. 1) размерностью 4*77.

На основании полученной матрицы решений методами многокритериальной оптимизации на базе метода достижимых целей сформированы эпюры границ Парето, которые могут быть использованы при обсуждении и выборе «оптимального» решения.

На основе выбранного «оптимального» в смысле Парето решения обратной прокруткой формируются режимы работы Краснодарского водохранилища, Федоровского и Тиховского ГУ до конца вегетационного периода.

На рисунках 2-5 приведены видеоматериалы, отражающие процесс принятия решения на различных этапах обсуждения лицом, принимающим решение (ЛПР) с водопользователями.

Таблица 1 – Матрица решений

номер	Дкрс	ДФ-к- мч-пк- ос	Дчорс	Дпаос	номер	Дкрс	ДФ-к- мч-пк- ос	Дчорс	Дпаос
n1	0	80	10	70	n40	40	70	40	31
n2	0	80	30	64	n41	40	70	60	22
n3	0	80	50	57	n42	40	70	80	13
n4	0	80	70	51	n43	40	70	100	4
n5	0	80	90	44	n44	40	50	50	30
n6	0	80	100	42	n45	40	50	70	16
n7	0	70	20	65	n46	40	50	90	1
n8	0	70	40	56	n47	40	30	80	20
n9	0	70	60	47	n48	40	30	100	0
n10	0	70	80	38	n49	70	30	0	40
n11	0	70	100	29	n50	70	30	20	34
n12	0	50	40	60	n51	70	30	40	27
n13	0	50	60	46	n52	70	30	60	21
n14	0	50	80	31	n53	70	30	80	14
n15	0	50	100	17	n54	70	30	100	8
n16	0	30	60	50	n55	70	20	20	25
n17	0	30	80	30	n56	70	20	30	22
n18	0	30	100	10	n57	70	20	40	19
n19	20	70	20	60	n58	70	20	50	16
n20	20	70	40	54	n59	70	20	60	12
n21	20	70	60	47	n60	70	10	50	10
n22	20	70	80	41	n61	70	10	55	7
n23	20	70	100	34	n62	70	10	60	5
n24	20	50	40	50	n63	70	0	60	0
n25	20	50	60	41	n64	90	20	0	20
n26	20	50	80	32	n65	90	20	10	18
n27	20	50	100	23	n66	90	20	20	16
n28	20	30	60	40	n67	90	20	30	14
n29	20	30	80	26	n68	90	20	40	12
n30	20	30	100	11	n69	90	20	50	10
n31	20	10	80	30	n70	90	10	10	15
n32	20	10	100	10	n71	90	10	20	12
n33	40	60	0	50	n72	90	10	30	9
n34	40	60	20	44	n73	90	10	40	6
n35	40	60	40	37	n74	90	10	50	2
n36	40	60	60	31	n75	90	0	20	5
n37	40	60	80	24	n76	90	0	25	2
n38	40	60	100	18	n77	90	0	30	0
n39	40	70	20	40					

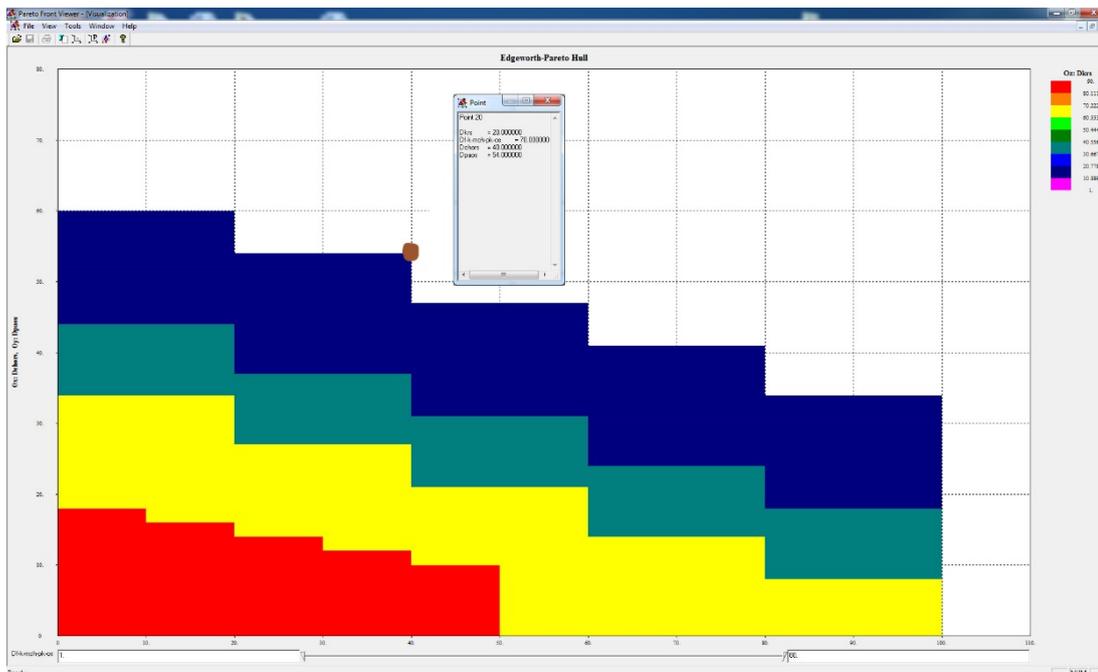


Рисунок 2 – Общая карта границ Парето (недоминируемых решений)

Визуализация результатов процесса принятия «оптимального» решения получена на разработанном в вычислительном центре им. А.А. Дородницына (автор Лотов А.В) программном комплексе Pareto Front Viewer, реализующим метод достижимых целей.

Разрешена сработка Краснодарского водохранилища на 40-50%, комплекс ОС выше ФГУ урезается не более 60%. Тогда для ПАОС и ЧОРС могут быть выбраны следующие варианты (рис. 3).

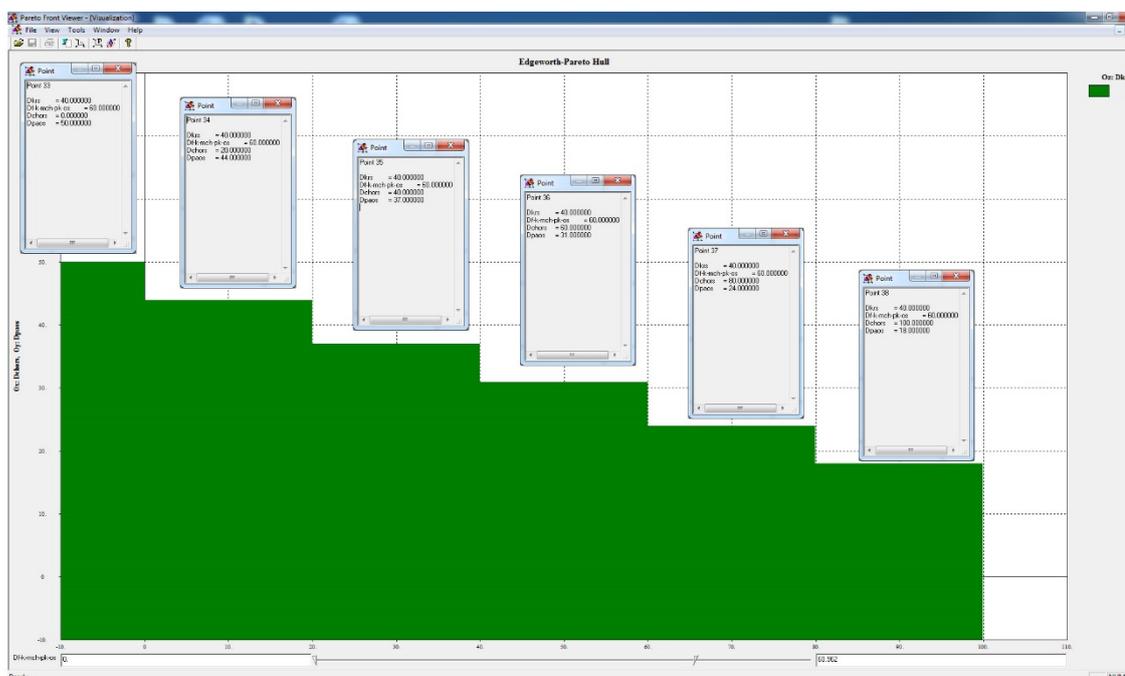


Рисунок 3 – Сработка Краснодарского водохранилища на 40 - 50%

Разрешена сработка Краснодарского водохранилища на 90% (рис. 4), комплекс ОС выше ФГУ урезается не более 20%. Тогда для ПАОС и ЧОРС могут быть выбраны следующие варианты:

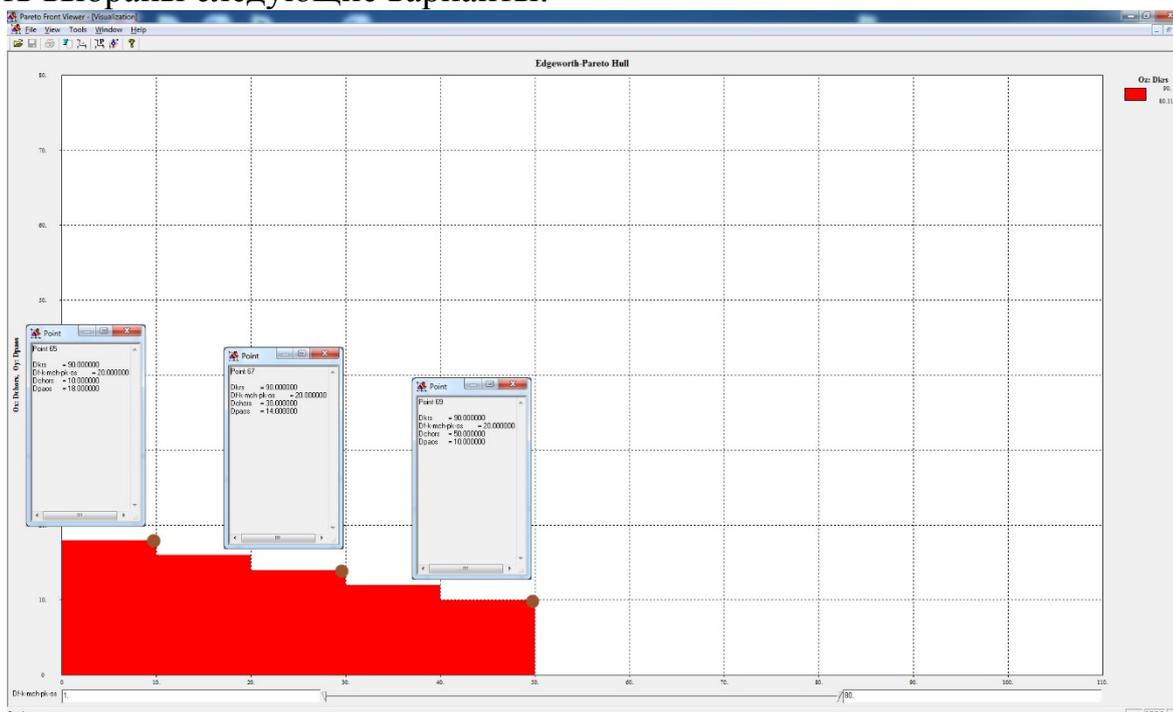


Рисунок 4 - Сработка Краснодарского водохранилища на 90%

Можно выбрать альтернативную структуру поиска «оптимального» решения, как показано на рисунке 5.

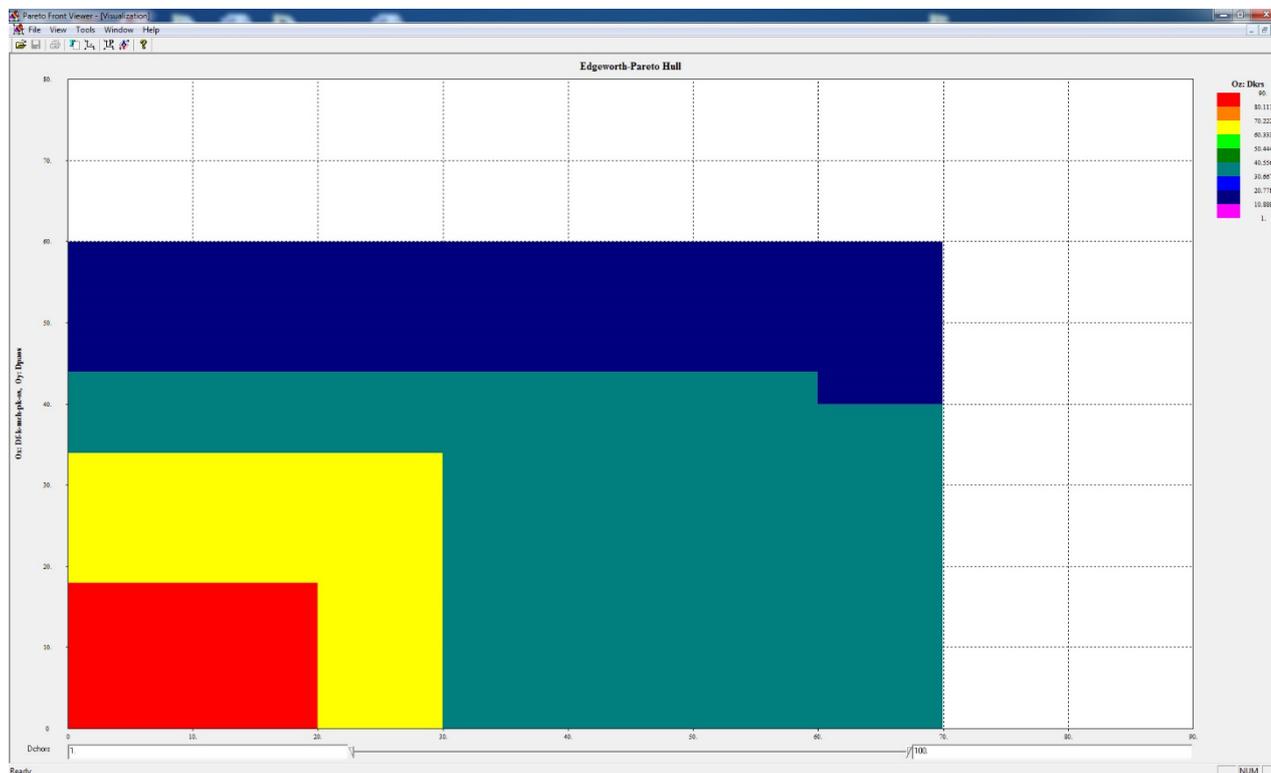


Рисунок 5 - Альтернативная структура поиска «оптимального» решения

Краткие выводы:

Выполнены и проанализированы тестовые расчеты на примере функционирования части водохозяйственной системы Нижней Кубани с расположенными на пойменных землях оросительными системами. Разработана методика, математическая модель и алгоритм оптимального управления водопотреблением и водопользованием на гидромелиоративных системах, расположенных в бассейне реки. Вычислительная технология выполнена на основе методов многокритериального анализа границ Эджворта-Паретто и гидродинамического моделирования речной сети бассейна Нижней Кубани.

Список использованных источников

1. Лотов А.В., Бушенков В.А., Каменев Г.К., Черных О.Л. Компьютер и поиск компромисса. Метод достижимых целей. М.: Наука, 1997.
2. Лотов А.В., Бушенков В.А., Каменев Г.К. Метод достижимых целей. Математические основы и экологические приложения. Lewiston, NY, USA: Mellen Press, 1999.
3. И. Ванн Бик, Д.П.Лаукс. Планирование и управление водохозяйственными системами, введение в методы, модели и приложения. Москва: 2009.0с.
4. Болгов М.В., Бубер А.Л., Лотов А.В. Поддержка принятия стратегических решений по обеспечению водой Нижней Волги на основе визуализации границы Парето. / Искусственный интеллект и принятие решений. 2017. №1. С.84-97.

УДК 631.6

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОПУСКА ПОЛОВОДЬЯ И ПАВОДКОВ ПРИ СОВМЕСТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ СБРОСОВ ИЗ КРЮКОВСКОГО, ВАРНАВИНСКОГО И КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ В ПЕРИОД КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ПОЛОВОДИЙ И ПАВОДКОВ

Бубер А.Л.

ФБГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В настоящей статье проанализированы основные положения пропускания половодья и паводков при совместном регулировании сбросов из Крюковского, Варнавинского и Краснодарского водохранилищ в период катастрофических половодий и паводков. Рассмотрены основные принципы построения компьютерной модели, учитывая противопаводковое назначение всех водохранилищ Нижней Кубани и концепцию по безопасному пропуску половодий.

Ключевые слова: РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА, ВОДОХРАНИЛИЩА НИЖНЕЙ КУБАНИ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ, ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ, ВОДОРЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ, ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ, КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ, АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ, СТРАТЕГИЧЕСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ, ОПЕРАТИВНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ

Введение

Регулирование стока реки Кубань в нижнем ее течении в настоящее время осуществляется тремя водохранилищами: Краснодарским, Крюковским и Варнавинским, - Федоровским гидроузлом и пущенным в 2005г. в эксплуатацию Тиховским вододелителем. Шапсугское водохранилище, которое также было включено в систему регулирования, в настоящее время находится на реконструкции и поэтому работает на прямотоке. Полный объем регулирующих водохранилищ составляет - 2547 млн.м³ при проектных отметках НПУ.

Наличие на одной реке или в бассейне одной реки двух или нескольких водохранилищ предполагает разработку общих правил использования их водных ресурсов. Особенностью регулирования стока р. Кубань является значительная протяженность участка реки, подверженного влиянию рассматриваемых водохранилищ, большим объемом слабо предсказуемого поверхностного стока, создающего во время двух ярко выраженных половодий (зимнего и летнего) катастрофические ситуации, связанные с регулярными затоплениями, и наличие на этом участке активной человеческой деятельности. Это вызывает необходимость при разработке режимов работы водохранилищ использовать долгосрочный и краткосрочный прогнозы водности реки. В связи с этим большое значение имеет возможность заблаговременного компьютерного моделирования режимов работы гидроузлов Нижней Кубани при различной прогнозируемой гидрологической обстановке для принятия обоснованного решения по регулированию стоком.

Основные принципы построения компьютерной модели

Учитывая противопаводковое назначение всех водохранилищ Нижней Кубани, при разработке компьютерной модели особое внимание должно быть уделено вопросам трансформации высоких половодных вод и аккумуляции части паводкового стока для ликвидации угрозы катастрофических наводнений в густонаселенных районах нижней Кубани. Для этого в модели должны быть предусмотрены различного рода сооружения, позволяющие, с одной стороны, определять попуски из водохранилищ, с другой - анализировать в оперативном режиме состояние верхних бьефов (ВБ) гидроузлов (ГУ) и уровенные режимы во всех контролируемых створах[1-2].

В проектной практике расчетная вероятность превышения максимального приточного расхода воды к створам гидроузла назначается исходя из высоты плотины и параметров водохранилища, а также масштаба катастрофы при прорыве плотины (гибель людей, экономический ущерб и др.).

Краснодарское водохранилище относится к сооружениям второго класса капитальности и рассчитано на два вида максимумов: проектный (вероятность превышения 1%) и поверочный (0,1%). При проектировании гидроузлов с противопаводковыми функциями появляется дополнительное требование: пропуск половодья (паводка), вероятность превышения которого определяется требованиями СНиП 2.07.01-89* с учетом классификации защищаемых объектов.

Краснодарский гидроузел предназначен для уменьшения ущербов от наводнений в нижнем течении реки Кубань в годы с высокими (вероятностью превышения P равной или более 1%) весенними половодьями. На этом участке реки находятся крупные промышленные центры Краснодарского края и Республики Адыгея и большая площадь сельскохозяйственных угодий.

Пропуск таких половодий (паводков) осуществляется при неполном открытии водопропускных сооружений гидроузла, что гарантирует непревышение расходом воды определенного значения и, соответственно, предотвращает затопление или подтопление защищаемых объектов ниже рассматриваемых гидроузлов. Эти объекты (например, крупный населенный пункт) могут находиться как в непосредственной близости к плотине, так и на значительном удалении от ее створа.

Для выполнения гидроузлами Нижней Кубани противопаводковых функций применяется двухступенчатый режим управления работой водохранилищ. Он предполагает максимальное использование их противопаводкового объема для защиты территорий от наводнений (первая ступень управления), а при наступлении половодья или паводка вероятностью превышения, близкой к расчетной или поверочной для сооружений соответствующего класса, - переход на режим работы, обеспечивающий безопасный пропуск максимальных расходов воды через основные сооружения гидроузлов (вторая ступень).

При реализации задач первой ступени учитывается наличие значительной приточности к водохранилищам на участках Нижней Кубани. Это определяет специальный (компенсированный) режим работы Краснодарского гидроузла в зависимости от работы всех остальных гидроузлов при прохождении по р. Кубань максимальных расходов воды. Попуски в нижние бьефы гидроузлов назначаются таким образом, чтобы уровни воды в контрольных створах не превышали допустимых значений. Таким образом, модельные расчеты должны определить предельные параметры сбросов и суммарное распределение их по времени среди действующих гидроузлов. Ниже рассмотрены различные гидрологические ситуации при реализации задач первой ступени.

Режим работы водохранилищ в период межени направлен на удовлетворение потребностей отраслей народного хозяйства в водных ресурсах, поддержание санитарных условий в реке Кубань и рукаве Протока и использование попусков из водохранилищ для нужд сельского хозяйства.

В средних по водности и среднемаловодных условиях, когда попуски из водохранилищ превышают или равны гарантированным расходам воды, режим работы каждого из водохранилищ осуществляется по диспетчерским правилам, представленным в «Основных правилах использования водных ресурсов...» в виде диспетчерских графиков.

При наступлении маловодных и крайне маловодных условий при совместном регулировании стока водохранилищами может быть использован эффект асинхронности стока рек нижней Кубани, направленный на обеспечение суммарной гарантированной водоотдачи водохранилищ в период межени (метод компенсированного регулирования).

Расчеты на компьютерной модели в межень должны позволить определить приемлемый режим работы водохранилищ с учетом прогноза расходов притока к гидроузлам (отдельно для каждого притока, освещенного гидрологическими наблюдениями). При осуществлении компенсированного регулирования попуски из водохранилищ должны назначаться таким образом, чтобы расходы воды в контрольных створах обеспечивали необходимые для работы водозаборов уровни воды в реке. Если при этом в какой-то части водосбора выпадут осадки и приточность окажется значимой, попуски из водохранилищ могут быть уменьшены, что позволит использовать накопленный запас воды для обеспечения устойчивой работы водозаборов в другие месяцы межени.

При реализации задач второй ступени учитывается, в основном, безопасность напорного фронта гидроузлов. Поэтому при модельных расчетах должны быть выявлены последствия прохождения высоких вод и определены створы с превышением уровней воды над допустимыми.

Стратегическая и оперативная компьютерные модели

Стратегическая компьютерная модель предназначена для оценки возможных сценариев прохождения половодья в зависимости от результатов предварительного долгосрочного прогноза объема половодья и максимального расхода в створах гидроузлов.

По верхнему значению прогноза объема предстоящего половодья, выбирается порядок расчета пропуска половодья:

- при прогнозе объема предстоящего половодья в створе Краснодарского ГУ обеспеченностью менее 3% пропуск половодья через гидроузлы осуществляется в соответствии с их диспетчерскими графиком (первый сценарий);

- при прогнозе объема предстоящего половодья в створе Краснодарского ГУ обеспеченностью 3% или более пропуск половодья через гидроузлы осуществляется в режиме противопаводковой защиты нижней Кубани (второй сценарий).

В обоих случаях на компьютерных моделях выполняются поверочные расчеты и по результатам моделирования производится корректировка попусков на всех гидроузлах.

Расчеты выполняются по различным моделям реальных лет, расчетные гидрографы которых для створов гидроузлов строятся в процессе расчетов по заданному объему и максимальному расходу воды по суточным интервалам времени.

Расчетами по первому сценарию определяются ожидаемые уровни воды в расчетных створах. В результате расчетов определяется начало и продолжительность работы водосбросных сооружений гидроузлов и предполагаемый сбросной расход воды, что дает возможность эксплуатационному персоналу использовать полученные результаты для предварительной разработки режима работы водосбросных сооружений.

Расчетами по второму сценарию проверяется возможность срезки максимальных расходов воды предстоящего половодья до величины, предотвращающей превышение критических уровней воды в расчетных створах, определяется ожидаемый подъем уровней воды в водохранилищах, продолжительность стояния уровней воды на отметках, превышающих НПУ, а также прохождение половодья на расчетном участке реки во времени и пространстве. Режим работы водохранилищ регламентируется их «Основными правилами». Критерием расчетов является недопущение превышения уровней воды в заданных створах. Если в процессе расчетов гидроузлы, в соответствии с «Основными правилами», переходят в режим безопасного пропуска половодья через его основные сооружения и ожидаемый расход воды в контрольных створах не превышает предельных значений, то такое регулирование принимается допустимым и реализуется в процессе прохождения половодья.

На основании анализа результатов расчетов, выполненных по нескольким расчетным моделям, составляется принципиальная схема совместной работы гидроузлов при пропуске предстоящего половодья.

Оперативная компьютерная модель предназначена для уточнения совместной работы водохранилищ во время прохождения реального половодья с учетом краткосрочных оперативных прогнозов притока к створам гидроузлов.

Принципиальная схема совместной работы уточняется в период прохождения половодья по мере поступления краткосрочных прогнозов.

По мере поступления прогноза среднесуточного расхода на последующие трое-пятеро суток вносятся коррективы в расчетные гидрографы и выполняются расчеты в соответствии с принятой принципиальной схемой совместной работы гидроузлов. В процессе расчетов попуски из водохранилищ уточняются таким образом, чтобы они (с учетом времени добегания) не превышали допустимые уровни в контролируемых в створах.

Для обеспечения надежного прогноза стока и оперативного (on line) оповещения пунктов управления водными ресурсами должна быть организована (или восстановлена и расширена) сеть пунктов снегомерной съемки в бассейнах основных притоков р. Кубань выше и ниже створа Краснодарского гидроузла, а также восстановлена (создана) и оборудована измерительными средствами и связью с управлением Росгидромета система гидрометрических (информационных) постов.

Методика среднесрочного и краткосрочного прогноза притока в водохранилища, а также проект восстановления и развития сети метеорологических и гидравлических наблюдений, должны быть разработаны Государственным гидрологическим институтом или Гидрометцентром Росгидромета и не являются предметом настоящих основных положений.

Информационной основой для организации мониторинга природно-хозяйственной обстановки, отслеживания текущих изменений уровня воды в контрольных пунктах и вдоль водотоков р. Кубань должны служить автоматизированные специальные приборы, коммутированные в общепосеймовую сеть связи, выходящую на центральный управляющий

диспетчерский пункт и управляющие пункты на гидроузлах, а также - на глав администраций городов и населенных пунктов, расположенных ниже Краснодарского гидроузла.

Проекты измерительных автоматизированных устройств и средств их связи с получателями и обработчиками информации должны составляться специализированными организациями.

Поиск допустимого управления на основе разработанных моделей выполняется в соответствии с принятыми правилами пропуска высоких половодий и заключается в последовательном поиске приемлемого решения на весь расчетный период половодья с учетом краткосрочного и долгосрочного прогноза и уточняется (например, ежедневно) в процессе прохождения половодной волны. Расчеты выполняются с учетом уже реализовавшейся действительности (данных наблюдений, полученных в реальном времени) и принятой ранее и уточняемой в процессе стратегии управления.

Общий порядок работы компьютерной модели включает следующие этапы:

- подготовка расчетных гидрографов притоков ко всем гидроузлам, а также к Варнавинскому сбросному каналу;
- расчет на компьютерной модели трансформации стока р. Кубань водохранилищами;
- моделирование прохождения половодного или меженного стока на расчетных участках рек Нижней Кубани.

Концепция по безопасному пропуску половодий

Водным объектом, рассматриваемым в основных положениях, является речная система, представляющая собой бассейн реки или его топологически связную часть, включающую систему водохранилищ, озер, русел рек, каналов, а также прилегающую к ним пойменную и стокообразующую территории (водосборная территория, ограниченная водоразделом). Речная система должна быть едина с точки зрения возможной катастрофической гидрологической обстановки.

В качестве гидротехнических сооружений (ГТС) рассматриваются напорные фронты гидроузлов, входящие в систему (каскад) водохранилищ, дамбы обвалований русел рек и оградительные дамбы, т.е. только те ГТС, уровенные и расходные характеристики которых определяют их безопасность.

С технической точки зрения, помимо поддержания ГТС в исправном состоянии, своевременной расчистки водных трактов, устранения заторов и т.п., основным является искусное маневрирование регулируемыми сооружениями системы с учётом взаимовлияния её элементов с целью недопущения превышения предельно безопасных уровней. Для этого требуется, чтобы в период пропуска половодий и паводков система управлялась из единого центра (штаба) независимо от принадлежности составляющих её частей, в нормальной обстановке функционирующих автономно.

Исходными данными в расчетный период являются полученные в результате краткосрочного (до 3-5 дней для оперативной модели) или долгосрочного (1-2 месяца для стратегической модели) прогнозов гидрографы притоков сверху и боковой приточности для всех участков речной системы, поступающие на основе мониторинга уровни и расходы на сооружениях и водопостах на начало расчетного периода, а также уровенные режимы водоприемников в устьевых створах.

Для выработки управления (управляющих воздействий) в период пропуска половодий и паводков – назначения попусков, заборов и сбросов – предполагается выполнение в реальном времени гидравлического расчета системы в целом с использованием компьютерной технологии. Расчеты должны в полной мере учитывать динамику потока, т.е. проводиться по уравнениям неустановившегося движения, известным как уравнения Сен-Венана.

Для возможности выполнения таких расчетов должна быть заблаговременно подготовлена и откалибрована гидродинамическая модель системы, учитывающая гидравлические и геометрические характеристики сооружений и русл.

Гидродинамическая компьютерная модель строится на основе заданного планового положения речной сети, набора поперечников по русловой части реки с выходом на пойму, батиметрических функций (уровень–объем–площадь_зеркала) для задания водохранилищ, и гидротехнических сооружений (гидроузлы с затворами, водопропускные сооружения различного вида). Условия поступления воды в речную систему задаются граничными условиями различного вида (внутренними и внешними), которые представляются временными функциями - гидрографами $Q(t)$, определяющими боковую приточность (точечную и распределенную), приток сверху, заборы и сбросы потребителей, переброска и т.д. Замыкающими граничными условиями в нижнем бьефе системы являются функции $H(t)$ и Q/h , которые определяют условия сопряжения речной системы с водоприемником. Шероховатости русла определяются путем калибровки по наблюдаемым значениям Q/h на гидропостах.

При задании начальных условий (как правило, полученных в пунктах наблюдений) модель становится полностью определенной и может быть инициирована для имитационного расчета (по уравнениям Сен-Венана) для всего заданного в граничных условиях периода моделирования. В результате расчета по модели выдаются в пространстве и времени все гидравлические характеристики потока (расходы, уровни, скорости, ширина по урезу и т.д.) и режимы работы гидроузлов (попуски в нижний бьеф).

Целью применяемых при управлении решений является назначение таких попусков из водохранилищ, заборов и сбросов потребителей, чтобы обеспечить безопасность ГТС, т.е. не допускать в период катастрофических половодий и паводков, с одной стороны, форсировки водохранилищ, с другой - обеспечивать уровень воды ниже гребня дамб в русловой части рек. Кроме того, необходимо выдерживать уровенные и расходные требования, обеспечивающие безопасное

прохождение половодной и паводковой волны по пойме в нижних бьефах гидроузлов.

Под концепцией системы управления безопасностью гидротехнических сооружений понимается система правил для поддержки принятия решений при ситуационном управлении водными ресурсами речной системы в период пропуска катастрофических половодий и паводков, разработанных на основе и с применением компьютерной гидродинамической модели для определения безопасных уровенных режимов на ГТС.

Подбор системы управления, обеспечивающей безопасность ГТС, осуществляется последовательным выполнением следующих действий:

1. При известном на основе мониторинга состоянии (уровенный режим) и наличии краткосрочного прогноза задаются «разумные» попуски (заборы, сбросы) на весь период наличия прогноза или ожидаемого времени улучшения ситуации;
2. По этим данным производится расчёт на компьютерной модели и выполняется анализ уровенных режимов в критических местах. На основе проведенного анализа ранее назначенные попуски корректируются в допустимых пределах и расчёт повторяется;
3. При достижении приемлемого решения подобранное управление выдаётся в качестве директив на ближайшее время;
4. При поступлении новых данных (текущий уровенный режим и уточнённый прогноз) производится новый расчёт на оставшийся промежуток времени и выдаётся уточнённое управление на следующий интервал времени.

При регулярном поступлении достоверных данных и наличии достаточно адекватной гидродинамической модели такой подход должен обеспечить качественное управление работой регулирующих ГТС в период пропуска половодий и паводков.

Предлагается реализация данной концепции для бассейна Нижней Кубани. В систему ГТС Нижней Кубани должны входить напорные фронты гидроузлов Краснодарского, Шапсугского, Крюковского и Варнавинского, Федоровского гидроузла, Тиховского вододеливателя, а также дамбы обвалования рек Кубани и Протоки. Целью разрабатываемой технологии является защита населенных пунктов и сельскохозяйственных земель, расположенных в нижнем бьефе Краснодарского ГУ от наводнений в период прохождения половодий вероятностью превышения $P=1\%$.

Контрольными створами в период прохождения высоких половодий являются все точки речной сети, где установлены и привязаны реальные поперечники, при этом отметки гребня дамб с гарантированной поправкой на условия размывания должны быть использованы, как контрольные значения. Кроме того, для каждого водохранилища должен быть использован диапазон допустимых проектных уровней (непревышение ФПУ, МПУ, НПУ, сработка не ниже УМО).

Список использованных источников

1. И. Ванн Бик, Д.П.Лаукс. Планирование и управление водохозяйственными системами, введение в методы, модели и приложения. Москва: 2009.0с.
2. Бубер А.А., Гетьман Е.Н., Хомутов Ю.А. Разработка Гидродинамической модели водотоков бассейна Нижней Кубани / Международная научно-практическая конференция «Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК», г. Москва, 5-6 октября 2017 г. –М.: ВНИИГиМ, 2017. С. 88-91.

УДК 556.536, 631.6, 631.95

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ БАСЕЙНОВ РЕК В ИНТЕРЕСАХ ВОДОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (АПК)

Бубер А.Л.

ФБГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В настоящей статье рассмотрены исследования, проводящиеся на основе методов имитационного моделирования процессов водоподачи на мелиоративные системы с использованием оптимизационных методов поиска компромиссных решений водообеспечения и водопользования.

Цель исследований при разработке модели водоресурсного обеспечения и информационных технологий управления водохозяйственными системами АПК - получение научно-обоснованных рекомендаций и инструментов по определению методов оптимизации водообеспечения и водопользования на гидромелиоративных системах.

Научная новизна исследований заключается в том, что совместно решаются не только мелиоративные, но и экологические, технические и эксплуатационные аспекты водообеспечения и водопользования на гидромелиоративных системах. Рассматриваются вопросы безопасности гидротехнических сооружений и защиты прилегающих территорий от наводнений в период высоких паводков. Для эффективного решения указанных задач применяются методы оптимизации, которые позволяют находить компромиссные решения водоподачи в интересах различных водопользователей. В данной работе рассмотрены подходы к решению задач многокритериальной оптимизации для управления водными ресурсами бассейнов рек, приведено описание программного комплекса MIKE 11 и дано математическое описание модели.

Ключевые слова: МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ, ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ, ВОДОРЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ, ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, MIKE 11, ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ, СООРУЖЕНИЯ, УПРАВЛЯЕМЫЕ СООРУЖЕНИЯ.

Введение

Объектом исследований в данной работе являются гидравлически связанные гидромелиоративные системы, функционирующие в бассейнах крупных рек со сложной гидрологической обстановкой, расположенные на территории Южного Федерального округа и испытывающие дефицит водных ресурсов.

Предмет исследований:

- теоретические подходы и методические реализации постановки оптимизационных задач формирования региональных схем водоподачи и водопотребления на гидромелиоративных системах на основе гидродинамического моделирования;

- разработка имитационных компьютерных моделей водообеспечения, выбор оптимальных вариантов, основанных на прогнозных оценках экономической эффективности и экологической безопасности функционирования рассматриваемой водохозяйственной системы;

- оптимальное управление водными ресурсами и защита территорий от прохождения высоких паводковых и половодных волн.

Оптимальное планирование и управление водными ресурсами

Построение моделей для определения альтернативных планов состоит из последовательности этапов. Необходимо обозначить: проблему, фундаментальные задачи и возможные альтернативы. Эти альтернативы могут быть связаны с объемом подачи воды различным пользователям, степенью очистки сточных вод, правилами эксплуатации многоцелевых водохранилищ и гидроэлектростанций, а также степенью защиты пойменных земель от наводнений и надежности дамб. Каждое из этих решений способно повлиять на критерии, связанные с эффективностью системы (экономические критерии оценки, включающие затраты и прибыли; природоохранные и социальные показатели, выраженные в денежных единицах).

Все типы оптимизационных моделей (детерминированных или вероятностных, статических или динамических, линейных или нелинейных) имеют общую концепцию, они описывают ситуации, в которых существует множество решений, удовлетворяющих всем ограничениям, и требуется найти наилучшее решение или, по крайней мере, набор лучших решений.

Независимо от типа оптимизационной модели все они включают в себя целевую функцию. Целевая функция оптимизационной модели используется для оценки множества возможных решений.

При выборе оптимизационных моделей следует основываться на конкретном типе их применения, например, определении размера водохранилища и/или его эксплуатационных особенностей, управлении качеством воды или сооружением и эксплуатацией ирригационных объектов. Результативность функционирования оптимизационных моделей зависит от алгоритма, используемого для решения. Некоторые алгоритмы гарантируют нахождение наилучшего решения, другие могут гарантировать только нахождение локального оптимума. Некото-

рые из них включают в себя алгебраические методы «математического» программирования, в других же используются техники детерминистического или случайного эмпирического поиска. К техникам математического программирования относятся множители Лагранжа, линейное и нелинейное программирование, динамическое программирование, квадратичное программирование, дробно-линейное программирование, геометрическое программирование и т.д. Применимость каждого метода зависит от математической структуры модели.

В ряде случаев для решения оптимизационных задач целесообразно использовать доступные компьютерные программы. В других случаях приходится разрабатывать собственное программное обеспечение.

В настоящий момент ни один тип моделей или процедуры решения не может считаться наилучшим для всех различных типов вопросов и проблем, встречающихся в планировании и управлении водными ресурсами.

Водохозяйственные системы, как правило, имеют многоцелевое назначение: экономическое, экологическое и биологическое, социальное и т.д. Они также выполняют целый ряд задач, таких, как водоснабжение, защита от наводнений, производство гидроэнергии, судоходство, рекреация, экология и навигация. Критерии эффективности (требования водопользователей) предлагают оценку того, насколько хорошо выполняется распределение водных ресурсов. Некоторые из этих критериев могут противоречить друг другу. В этих случаях существует компромисс между конфликтующими критериями и эти компромиссы должны учитываться при поиске наилучшего компромиссного решения.

Развитие и рациональное использование водохозяйственных систем предполагает принятие решений. Решения принимаются на различных уровнях планирования и управления. Способность принимать взвешенные решения, основанные на научных, а также социальных или политических критериях, имеет фундаментальное значение для успеха организаций, занимающихся планированием и управлением водными ресурсами.

Конфликты между требованиями различных заинтересованных водопользователей заставляют искать компромиссы. Решения в области управления водными ресурсами неизбежно связаны с компромиссами - среди конкурирующих возможностей или целей. Одной из задач, которые решаются при планировании, является оценка альтернативных планов и выявление компромиссов среди конкурирующих возможностей, целей или задач. После этого наилучшее компромиссное решение вырабатывается и принимается в процессе переговоров с участием всех заинтересованных сторон (площадкой для проведения таких дискуссий является Бассейновый Совет).

Величины, определяющие оценку различных планов, называются системой критериев эффективности. Некоторые из этих величин имеют количественную характеристику, другие – только качественную. Отсутствие количественной оценки не делает критерии менее важными, чем те, которые могут быть определены количественно. Лица, принимающие решения, учитывают, как качественные, так и количественные критерии.

Планирование и управление водными ресурсами осуществляется в условиях наличия множества критериев по защите окружающей среды. Ключевым элементом большинства проблем является необходимость учитывать многочисленные экологические, экономические и социальные последствия, выраженные посредством многочисленных показателей, которые могут возникнуть в результате производственной деятельности.

Решение предполагает выработку консенсуса между всеми участниками в процессе планирования. К ним относятся заинтересованные стороны - отдельные лица или группы лиц, которые имеют интерес в итогах любого плана. Заинтересованные водопользователи должны быть полностью включены в процессы принятия решений наряду с профессиональными управленцами. Важными источниками информации являются дискуссионные группы, публичные слушания, переговоры и процессы по разрешению споров. Именно в ходе дебатов на таких совещаниях должны представляться и рассматриваться альтернативные решения, полученные методами моделирования.

Профессионалы в области водных ресурсов, предоставляющие технически обоснованные варианты или компромиссы лицам, принимающим решение, сами принимают некие решения, которые ограничивают круг возможных вариантов или компромиссов. Поэтому важно принятие обоснованных, эффективных решений, подготовленных профессионалами.

Функции, определяющие цели, должны быть преобразованы в более конкретные и могут включать понятия максимизации или минимизации, т.е. минимизация затрат, максимизация чистой прибыли, максимизация надежности, максимизация качества воды, максимизация биологического разнообразия экосистем, сведение к минимуму времени строительства, или сведение к минимуму максимальных отклонений от заданного объема водохранилищ и заданного распределения водных ресурсов (минимизация количества перебоев при подаче воды водопользователям). Подобные экономические, экологические и чисто физические цели могут стать целевыми функциями, которые позволяют принимать решения на основе применения методов оптимизации. Необходимо рассматривать также социальные цели. Например: максимальная занятость, максимальная межведомственная координация, максимальное участие заинтересованных сторон, одновременное сведение к минимуму правовой ответственности и потенциальных будущих ущербов, юридических действий и затрат.

Компромиссы неизбежны, когда есть многочисленные цели, а многочисленные цели неизбежны, когда есть много заинтересованных сторон и участников в процессе планирования и управления. Нахождение баланса между всеми конфликтующими критериями эффективности характеризует качество менеджмента при использовании водных ресурсов. Нахождение наилучшего компромисса между конкурирующими решениями является политическим или социальным процессом. Модели могут идентифицировать компромиссы между количественными целями, но не могут определить наилучшее компромиссное решение. Модели способны помочь выявить и оценить альтернативные варианты, но они не могут занять место человека при принятии окончательного решения.

Многокритериальный анализ

Модели помогают выявить самые важные компромиссы между конкурирующими целями. Их иногда называют эффективными компромиссами. Эффективные решения - это решения, которые не могут быть изменены без ухудшения одного или нескольких целевых значений. Если одно из многочисленных конфликтующих целевых значений должно быть улучшено, то, вероятно, будет необходимо некоторое ухудшение одного или нескольких других целевых значений. Доминирующими, или так называемыми решениями низкого уровня, называют такие, при которых можно улучшить по крайней мере одно целевое значение без ухудшения остальных.

Многокритериальные методы или методы многоцелевого анализа не предназначены для определения лучшего решения, они обеспечивают информацию о замещениях (компромиссах) между данными множествами количественных критериев эффективности [1-4]. Любое окончательное решение будет принято в процессе обсуждения на основе качественной и количественной информации, а не в компьютере. Определение допустимых и эффективных планов является более простой задачей, чем решение, какой из этих эффективных планов лучший.

Когда различные цели проекта планирования водных ресурсов не могут быть объединены в единичную скалярную функцию цели, должна применяться многоцелевая модель. Формулируется векторная проблема оптимизации. Пусть вектор X представляет множество неизвестных величин переменных решения, которые требуется определить, а $Z_j(X)$ есть эффективный критерий или цель, которая должна максимизироваться. Каждый эффективный критерий или цель j есть функция от этих неизвестных величин переменных решения. Допустим, что все цели $Z_j(X), j = 1, 2, \dots, J$ максимизируются, тогда модель может быть записана следующим образом

$$\text{Максимизировать } [Z_1(X), Z_2(X), \dots, Z_j(X), \dots, Z_J(X)] \quad (1.1)$$

При ограничениях:

$$q_i(X) = b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.2)$$

Цель в уравнении есть вектор, состоящий из J отдельных целей. Область допустимых решений определяет m ограничений $q_i(X) = b_i$.

Вектор модели оптимизации есть выразительный способ формулировки многоцелевой (многокритериальной) проблемы, но он бесполезен для ее решения. В реальности вектор может быть максимизирован, если он может быть преобразован (свернут) в скаляр. Таким образом, проблема многокритериального планирования, определенная выше, не может в общем случае быть решена без дополнительной информации. Целью многокритериального моделирования является генерация множества технологически достижимых и эффективных планов. Эффективный план это такой, над которым нельзя доминировать (нельзя "улучшить" функционал по одной переменной не «ухудшив» по другой).

Оценкой «оптимальности» решения является объем поданной в соответствии с требованиями воды для каждого водопользователя, а также величина сброски водохранилищ.

Доминирование

План X доминирует над всеми другими, если его целевые значения равны или больше значений для всех целей других планов и существует, по крайней мере, одна целевая величина, которая строго больше, чем у всех других планов. Допустим, что все цели j максимизируются, тогда альтернативный план i , X_i доминирует, если

$$Z_j(X_i) \geq Z_j(X_k) \quad \text{для всех целей } j \text{ и планов } k \quad (1.3)$$

и для каждого плана $k \neq i$ есть, по крайней мере, одна цель j^* такая, что

$$Z_{j^*}(X_i) > Z_{j^*}(X_k) \quad (1.4)$$

Если план доминирует над всеми остальными, то его можно выбрать как наилучший, но это бывает очень редко. Более частный случай, когда различные планы будут доминировать над всеми планами для различных целей. Однако, если существуют два плана k и h таких, что $Z_j(X_k) \geq Z_j(X_h)$ для всех целей j и для некоторой цели j^* , $Z_{j^*}(X_k) > Z_{j^*}(X_h)$, то план k доминирует над планом h , и план X_h может быть выброшен из дальнейшего рассмотрения, допуская, конечно, что все цели были рассмотрены. Если некоторые цели не включены в анализ, то такие "худшие" планы относительно целей, включенных в анализ, не должны быть исключены из дальнейшего рассмотрения. Анализ доминирования может иметь дело только с явно рассматриваемыми целями.

Анализ доминирования требует, чтобы участники в процессе планирования и управления задавали цели, которые должны быть максимизированы. Не требуется оценки относительной важности каждой цели. Эффективные решения, которые не могут быть "худшими" или над которыми нет доминирующих решений, часто называются оптимальными Паретовскими (Pareto) решениями, потому что они удовлетворяют условиям, предложенным в 19-ом веке итальянским экономистом Вильфредо Парето (Vilfredo Pareto), а именно, чтобы улучшить величину одной цели, необходимо ослабить, по крайней мере, одну из других целей.

Рассмотрим, например, три альтернативных плана A , B и C . Допустим, как показано на рисунке 1, что план C хуже плана A относительно цели $Z_1(X)$ и также хуже плана B относительно цели $Z_2(X)$. План C может до сих пор рассматриваться лучшим, относительно обеих целей $Z_1(X)$ и $Z_2(X)$. В то время, как план C мог бы быть хуже обоих планов A и B , как и план D на рисунке 1, нет необходимости обязательно удалять из рассмотрения план C только на основе попарного сравнения. В действительности, план D , даже если он хуже относительно обеих целей $Z_1(X)$ и $Z_2(X)$, может быть предпочтителен, если будет включена в рассмотрение другая цель.

Попарное сравнение планов или целей не может определить все не доминантные планы. Все цели должны быть рассмотрены, прежде чем заявить, что план худший.

Есть много методов, помогающих выбрать большинство недоминируемых планов. В работе [3] рассмотрены некоторые из них: Метод весовых множителей, Метод ограничений, Комбинированный весов и ограничений, Метод достижимых целей (МДЦ) Метод удовлетворительных значений, Лексикографический

метод, Анализ безразличия, Метод программирования целей, Диалоговый метод, Моделирование и оценка плана.

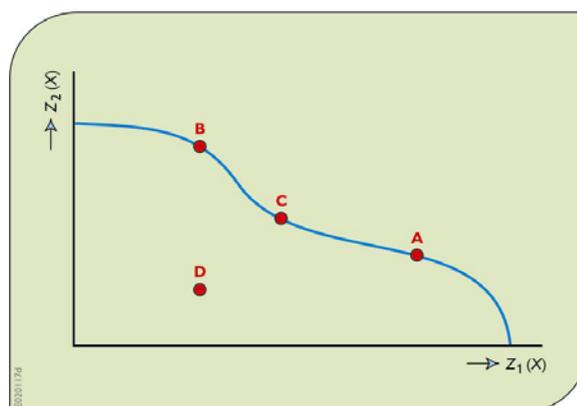


Рисунок 1 – Четыре дискретных плана вместе с непрерывной эффективной границей, связанной с двумя целями Z_1 и Z_2

Методы весов и ограничений являются одними из многих методов, порождающих эффективные или неухудшаемые решения. Использование методов, которые порождают множество эффективных решений, предполагает, что, как только все неухудшаемые варианты определены, участники процесса планирования и управления будут способны выбрать лучший компромиссный вариант из их числа. Часто число возможных неухудшаемых вариантов слишком велико и требуются специальные средства визуализации.

Инструменты гидродинамического моделирования речных систем (MIKE 11 ДГИ)

Разработка имитационных компьютерных моделей гидродинамических процессов в речных системах, каналах и эстуариях выполняется на базе программного комплекса MIKE 11, разработанного Датским Гидравлическим институтом (ДГИ).

MIKE11 - это профессиональный пакет программ для моделирования потоков (включая прорыв плотин), качества воды и транспорта наносов [5-9]. Пакет является средством квази-двумерного моделирования при управлении и регулировании речными системами, а также при их проектировании.

При разработке документации были использованы материалы ДГИ: руководство пользователя (User Manual), общие рекомендации по использованию (General Reference Manual), короткое описание (Short description), руководство по применению (Guide to getting started), обучение (Tutorial). Настоящее руководство разработано для проектирования водных объектов при помощи Гидродинамического модуля (HD) и модуля Управления Сооружениями (SO). В нем описываются общие подходы к моделированию речной системы и оперативному управлению сооружениями, но нет возможности пользователю-непрограммисту разрабатывать имитационные компьютерные модели систем с использованием программного комплекса MIKE 11.

Гидродинамический модуль (HD)

Гидродинамический модуль содержит в себе неявное конечноразностное решение уравнений нестационарного течения воды в реках, каналах и эстуариях. Эта формулировка может быть применена для описания рукавной речной системы и для квази-двумерного моделирования течений на затопленных поймах.

Расчетная схема применима к условиям однородного вертикального течения, изменяющегося от условий речных потоков с большими уклонами до приливных течений в эстуариях. Средствами численной схемы HD-модуля могут быть описаны как докритические, так и сверхкритические режимы течения с соответствующей адаптацией к местным условиям.

Полные нелинейные уравнения Сен-Венана для течения в открытых руслах могут быть численно решены для всех точек выбранной сетки и для заданных временных интервалов и граничных условий.

В дополнение к полному гидродинамическому описанию возможно использовать упрощенное описание потока, позволяющее оценить:

- диффузионные волны;
- кинематические волны;
- квази-стационарное течение.

В структуре стандартного HD-модуля сформулированы и развиты расчетные методы, дающие возможность выполнить расчеты пропуска потока через водопропускные сооружения различных типов:

- водосливы с широким порогом;
- глубинные водоспуски;
- другие типы сооружений, выбранные пользователем системы.

Математическое описание гидродинамического модуля (HD)

Модуль HD реализует неявную разностную схему расчета неустановившегося движения воды в водотоках основанную на уравнениях Сен-Венана :

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad \begin{array}{l} \text{уравнение} \\ \text{неразрывности;} \end{array}$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{\partial(\alpha Q^2 / A)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad \begin{array}{l} \text{уравнение количества} \\ \text{движения (динамическое движение)} \end{array}$$

Здесь: Q - расход потока,
q - боковой приток (отток),
h - глубина потока,
A - площадь сечения потока,
R - гидравлический радиус,
C - коэффициент Шези,
a - коэффициент Буссинеска,
g - ускорение силы тяжести,
x - длина (свободная координата),
t - время (свободная координата).

Численная схема позволяет рассчитывать докритические (спокойные) и сверхкритические (бурные) потоки.

В модуль включены блоки, описывающие работу гидротехнических сооружений, в т.ч. управляемых.

Гидравлическое сопротивление русла рассчитывается по формуле Маннинга:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} = MR^{1/6}$$

- где: С - коэффициент Шези,
R - гидравлический радиус,
n - коэффициент шероховатости (по Манингу n),
M - коэффициент шероховатости (по Манингу M).

Существует возможность описания сопротивления русла сложной формы с неоднородной шероховатостью, а также калибровки зависимости, описывающей сопротивление, по натурным данным.

Граничные условия могут быть заданы двух видов:

- h или Q (глубины или расходы) как функции времени;
- связь между h и Q $f(h, Q) = 0$ (только в устье).

Топология гидрографической сети задается описанием соединения между собой именованных линейных участков. Координатой в пределах участка является пикет. Местоположение любого створа, сооружения, притока и т.п. в дальнейшем задается парой имя участка/пикет.

В характерных створах задается геометрия поперечного сечения в табличном виде, т.е. набора координат X, Z, где

- Z - абсолютная отметка точки сечения,
- X - расстояние точки до начала координат.

В этом же поперечном сечении даются все сведения о гидравлическом сопротивлении русла.

Между смежными створами геометрические и гидравлические характеристики при вычислениях интерполируются.

При наличии гидротехнических сооружений они привязываются к расчетной схеме (указывается имя участка и пикет) и снабжаются описанием, зависящим от типа сооружения.

Модуль содержит описание широкого круга сооружений, которые могут быть разделены на три категории:

1. Сооружения, работа которых рассчитывается автоматически во всех гидравлических режимах. К ним относятся водосливы с широким порогом и трубы, для которых требуется лишь задать их параметры; специальные водосливы, для которых, в отличие от водосливов с широким порогом, требуется задание зависимости $Q(h)$ для условий свободного истечения. Подтопление учитывается автоматически. К этой же категории относится модель, имитирующая прорыв земляной плотины.

2. Регулирующие сооружения, работа которых описывается пользователем. К ним относятся сооружения с заданием функционирования во времени, такие как насосные станции $Q=f(t)$ и сооружения, работающие в зависимости от уровня воды или расхода в другом створе.

3. Сооружения, режим работы которых рассчитывается автоматически, исключая критический режим и режим свободного истечения, для которых требуется задавать соотношение $Q(h)$. К ним относятся некоторые специальные водосливы и трубы.

В модуле HD имеется возможность учета затопления прилегающих к водотоку земель, как присоединенных емкостей (не учитываются при расчете динамики потока, но учитываются в уравнении неразрывности).

При необходимости может быть учтено влияние ветра (добавка к гидравлическому сопротивлению).

Потери на фильтрацию в пойме и возврат фильтрационных вод также могут быть включены в модель.

Для расчета неустановившегося движения нужны начальные условия, т.е. состояние системы в нулевой (начальный) момент времени. Эти условия могут быть заданы различными способами:

- в виде начальных расходов и уровней в створах (между створами эти значения интерполируются);
- автоматически (система сама подбирает равновесное состояние, удовлетворяющее граничным условиям);
- заимствуются результаты предыдущего расчета по этой же модели (как продолжение расчета во времени).

Расчет выполняется по уравнениям Сен-Венана как в полной их форме, так и в сокращенной (без учета инерционного члена).

Принятая в модели разностная схема предполагает задание сети расчетных точек, состоящей из перемежающихся точек, в которых вычисляется расход (Q-точки) и уровень (h-точки). Q-точки размещаются посередине между соседними h-точками, в то время как расстояние между h-точками может меняться. На гидротехнических сооружениях всегда размещаются Q-точки.

Густота расчетных точек задается пользователем, исходя из требуемой точности решения и обеспечения устойчивости вычислительного процесса. По выбору шага сетки в документации имеются соответствующие рекомендации: 30-50 точек на длину волны.

$$\text{Скорость волны } V_w = \sqrt{g \cdot y}$$

$$\text{Длина волны } L_w = T \cdot V_w$$

где: T - характерное время процесса (волновой период); g - ускорение силы тяжести; y - глубина потока.

Для обеспечения устойчивости вычислительного процесса необходимо выдерживать соотношение между шагом сетки по длине dx и шагом сетки по времени dt , обеспечивающее значение числа Куранта не более 10-15.

$$\text{Число Куранта: } Cr = (dt/dx) \cdot (V + V_w) < 10-15$$

где V - скорость потока.

В некоторых случаях можно использовать упрощенную формулу

$$V \cdot dt/dx < 1-2$$

Наличие гидротехнических сооружений и других резких изменений сечения требует уменьшать шаг по времени.

Перед началом счета задается период расчета - начальное и конечное время. Граничные условия, зависящие от времени, должны перекрывать этот период.

В результате расчета для каждого момента времени в пределах заданного периода, т.е. во всех точках временной сетки, определяются расходы во всех Q -точках и глубины во всех h -точках. Результаты могут быть выведены полностью или частично в табличной и/или графической форме. Эта же информация сохраняется во внутреннем формате в файлах результатов для последующего возможного использования.

Сооружения

Программный комплекс МИКЕ 11 предусматривает широкий спектр различных сооружений, которые могут быть установлены на речной системе. Сооружения задаются координатной привязкой их к речной системе и гидравлическими параметрами, описывающими работу этих сооружений. В системе предусмотрена работа со следующими видами сооружений: водосливы с широким порогом, у которых Q - H вычисляется программно, специальные водосливы (Q - H задается), водопропускные сооружения закрытого типа - кульверты (трубы, донные водовыпуски и т.п.), у которых Q - H заданы пользователем или вычисляются системой, регулирующие сооружения различного типа, сооружения общего вида, заданные функцией Q - H , регулирующие затворы с различного рода условиями регулирования (по уровню, расходу и т.д.):

- водослив с широким порогом (Q - H вычисляется) задается привязкой к участку и пикету и геометрией водослива (высотные отметки и ширина водослива соответственно). Из введенных данных МИКЕ 11 вычисляет Q - H отношение для критического потока на водосливе в промежутке от гребня плотины до наивысшей заданной точки. Расчет ведется по ближайшим поперечникам;

- специальный водослив (Q - H задается пользователем) определяется аналогично водосливу с широким порогом для ситуаций, в которых Q - H невозможно описать формулой. В этом случае пользователь сам задает функцию Q - H , соответствующую свободному переливу через водослив;

- кульверт - водопропускное сооружение закрытого типа (Q - H задается пользователем). Пользователь, как и в предыдущем случае задает функцию Q - H критического истечения в диапазоне уровней для верхнего расчетного пикета. Этот диапазон должен покрывать как свободный приток, в котором труба действует как водослив, так и приток, вызывающий переполнение, где выпуск кульверта затоплен. В этом случае критический расход определяется формулами как для выходных отверстий типа сопла или жиклера (напорный и безнапорный варианты). Пользователь должен иметь ввиду, что потери внутри кульверта в расчетах не учитываются;

- кульверт - водопропускное сооружение закрытого типа (Q - H вычисляется). Пользователю предлагается большой выбор параметров для описания устройства кульверта, что позволяет вычислять отношение Q - H автоматически. Этот режим используется для описания кульвертов стандартного типа. Кульверт задается привязкой к участку и пикету на участке, геометрией (круглая, прямоугольная или неправильная формы), уровнем дна верхнего и нижнего конца трубы, длиной, числом Маннинга, количеством труб, регулирующим клапаном и коэффициентами потерь для различных потоков и дна. По заданным параметрам программа вычисляет все необходимые гидравлические характеристики;

- регулирующие сооружения ($Q(t)$ - задается пользователем) - это сооружения типа насосных станций перекачки, которые ставятся врассечку между двумя водотоками. Здесь задается только привязка к каналу или реке. Функция $Q(t)$ определяется в секции граничных условий;

- регулирующие сооружения ($Q = Q_a * f(Z_b)$). Это специальное регулирование может применяться, например, когда расход через плотину определяется комбинацией двух параметров: уровнем воды в водохранилище и притоком в него воды сверху;

- управляемые сооружения могут использоваться везде, где поток через или над сооружением управляется движением затвора, являющегося частью сооружения. Управление затвором может зависеть от уровня воды, разности уровней в двух заданных точках, расхода или разности расходов в двух заданных точках, может задаваться в явном виде как функция от времени и т.д. Затвор может быть определен как переливной (типа водослива) или истекающий (типа шлюза), в котором поток проходит под затвором. Затвор задается привязкой к участку, геометрией, типом и условиями регулирования. Результаты расчета выдаются в табличном виде.

Управляемые сооружения

Способ, по которому вычисляется уровень поднятия затворов, определяется стратегией управления. Стратегия управления описывает функцию зависимости уровня поднятия затвора от значения в контролируемой точке. Используя оператор `if`, для выбранных затворов можно сделать выбор между стратегиями управления. Для каждого оператора (строки) можно определить необходимое число условий, которые оцениваются как работающие, если `if` оператор равен «истине». Таким образом, можно использовать различную политику управления (стратегию) в зависимости от действительных расходов, времени и т.д.

Для того, чтобы определить стратегию управления, таким образом, необходимо задать две вещи: условие, которое должно быть выполнено для исполнения стратегии и сама стратегия управления.

Сама стратегия управления – это отношение между независимой переменной (величиной в точке контроля) и зависимой переменной (величиной в целевой точке). Как пример, допустим, что позиция затвора определяется уровнем воды в нижнем бьефе. Точка контроля тогда – это h -точка ниже затвора. Уровень воды в этой точке определяет величину в целевой точке, которая, в этом примере, бу-

дет являться уровнем затвора. Концепция использования «целевой точки», которая косвенно влияет на уровень затвора, реализуется в MIKE11 путем использования различных вычислительных режимов. Таким образом, есть возможность определять уровень затвора напрямую и косвенным образом. Предположим, что вы хотите знать, как нужно управлять затвором для того, чтобы поддерживать определенный уровень в ВБ затвора. Запрашиваемый уровень ВБ определяется сезонным изменением, связанным с рисками наводнений. Чтобы сделать это в MIKE11, нужно выбрать точкой контроля время, а целевой точкой – уровень ВБ. Способ получения требуемого уровня воды в зависимости от уровня затвора реализуется выбором режима вычисления «решение итерациями». В этом случае MIKE11 будет изменять уровень затвора до тех пор, пока уровень ВБ не станет равным требуемой величине (или возможно близкой к ней).

Должны быть определены пять главных параметров: Приоритет, Режим вычислений, Тип контроля, Тип цели, Тип шкалы. Далее должны быть определены детали. Мы начинаем с описания основных параметров. Как показано на рисунке 2, секция определения управления представлена в виде таблицы. Каждая строка в таблице представляет главные параметры оператора «if».

Branch	Chainage	ID	Type	No. Gates	Underflow CC	Gate width	Sill level
30	C13-S1	1500	SNP56	Discharge	1	0.63	0
31	WCD-Sunrise	450	SNP55	Discharge	1	0.63	0
32	C-13-S2	1350	SNP54	Discharge	1	0.63	0
33	Fern_Forest	75	Fern Forest p	Discharge	1	0.63	0
34	SFWMD_C-11	24430	S9 pump	Discharge	1	0.63	0
35	SFWMD_L-37	40	S9XN	Overflow	1	0.63	3.785616
36	SFWMD_L-33	40	S9XS	Overflow	1	0.63	3.785616
37	SBDD_15	200	G86S	Overflow	1	0.63	2.4384
38	US 27 N	40	G86N	Overflow	1	0.63	2.4384
39	SBDD 3	20	G87	Underflow	1	0.63	2.1336

Рисунок 2– Таблица с заданными параметрами управляемых сооружений

Приоритеты

Как упоминалось выше, при определении управления можно заставить MIKE11 выбирать между некоторым числом взаимоисключающих стратегий управления. Эти стратегии управления построены посредством списка операторов if. Будет выполнена стратегия управления, соответствующая первому оператору «if» с «истинным» условием. Поэтому важно для пользователя определить, какой оператор «if» будет оцениваться первым, вторым, третьим и т.д. Это делается при помощи поля приоритет. В нем пользователь определяет целым числом приоритет «if»-оператора. По умолчанию первая строка в таблице будет иметь

приоритет один, вторая – два и т.д. Заметим, что «if»-оператор с низшим приоритетом будет выполняться всегда. Этот оператор будет всегда связан по умолчанию со стратегией управления, которая исполняется, когда все другие «if»-операторы оценены как «ложь».

Режим вычислений

Табличный: это режим по умолчанию. Определяет напрямую величину уровня затвора (расход через затворы в случае выбора расхода).

PID операция: этот режим соответствует управлению затворами PID. В этом режиме уровень затвора определяется итерационно по следующим уравнениям:

$$u^n = \alpha_1 K \left\{ 1 + \frac{T_s}{T_i} + \frac{T_d}{T_s} \right\} \{y_{ref}^n - y^n\} - \alpha_2 K \left\{ 1 + 2 \frac{T_d}{T_s} \right\} \{y_{ref}^{n-1} - y^{n-1}\} - \alpha_3 K \frac{T_d}{T_s} \{y_{ref}^{n-2} - y^{n-2}\} - u^{n-1} \quad (1.5)$$

где u^n – уровень затвора (или расход) в n -ый временной шаг, k – фактор пропорциональности, T_i – интегральное время, T_d – время деривации, T_s – время испытания, т.е. шаг моделирования по времени, y_{ref}^n – требуемая величина в целевой точке в n -ый шаг времени, y^n – действительная величина в целевой точке в n -ый шаг времени, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – веса. В этом случае $\{y_{ref} - y\}$ – представляет отклонение от желаемой ситуации. Это отклонение минимизируется PID – алгоритмом в (2.1).

Переменные $k, T_i, T_d, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ вводятся пользователем. Остальное вычисляет MIKE11.

Краткие выводы

1. Изложенный подход многокритериального анализа компромиссных решений позволяет сформировать множество недоминируемых планов и подготовить платформу для переговоров заинтересованных водопользователей, специалистов и лиц, принимающих решения. Применяемые методы позволят достигнуть «оптимальных» показателей функционирования всей водной системы и обеспечить экономию воды в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов даже в годы средней водности.

2. Для формирования управленческих решений по оптимальному водораспределению между водопользователями (мелиоративными системами) может быть использован инструментарий гидродинамического моделирования с применением комплекса программ MIKE 11 и модуля «Управляемые сооружения». Сформированные гидравлические результаты могут быть использованы для

формирования множества недоминируемых решений и, в дальнейшем, проанализированы методами многокритериальной оптимизации для выбора компромиссного решения.

Список использованных источников

1. Лотов А.В., Бушенков В.А., Каменев Г.К., Черных О.Л. Компьютер и поиск компромисса. Метод достижимых целей. М.: Наука, 1997.
2. Лотов А.В., Бушенков В.А., Каменев Г.К. Метод достижимых целей. Математические основы и экологические приложения. Lewiston, NY, USA: Mellen Press, 1999.
3. И. Ванн Бик, Д.П.Лаукс. Планирование и управление водохозяйственными системами, введение в методы, модели и приложения. Москва: 2009.0с.
4. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981
5. Бубер А.Л., Болгов М.В., Бубер А.А. - «Использование гидродинамического компьютерного моделирования при анализе прохождения паводковых, паводковых и прорывных волн в бассейнах рек» / Круглый стол «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций», 17 сентября 2015 г, Статья опубликована в 2016 г.
6. Бубер А.А., Бородычев В.В., Талызов А.А. /Разработка гидродинамической модели дельты реки Волга и Западных подступных ильменей/ Известия Нижневолжского Агроуниверситетского комплекса: «Наука и высшее профессиональное образование», выпуск № 2(46), 2017, Волгоград, Волгоградский ГАУ
7. Компьютерное моделирование речных потоков. Теоретические основы. М.: Научная консалтинговая фирма «Волга», 2013;
8. Компьютерное моделирование систем рек и каналов Mike11. М.: Научная консалтинговая фирма «Волга», 2013;
9. MIKE VIEW Создание презентаций/. Результаты моделирования MOUSE, MIKESWMM, MIKENET, MIKE11, MIKE URBAN/ М.: Научная консалтинговая фирма «Волга», 2013.

УДК 556.536, 631.6, 631.95

ВОДОРЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Бубер А.Л., Бубер А.А., Бубер В.Б.

ФБГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В настоящей статье приведено описание составления прогнозной оценки территориального распределения водоресурсного потенциала региона в интересах различных водопользователей. Приведены математические подходы к решению задач водообеспечения пользователей АПК на основе многокритериальной оптимизации и выбора компромиссных решений. Приведен алгоритм решения оптимизационной задачи.

Ключевые слова: МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ, ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ, ГИДРОМЕЛИОРАТИВНАЯ СИСТЕМА, ВОДОРЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ, ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

Введение

Объектом исследования является водохозяйственная система (ВХС), расположенная на водных объектах бассейна реки и предназначенная для обеспечения водопользователей АПК.

Целью исследований является разработка методики для создания Вычислительной технологии (ВТ) формирования «оптимальных» режимов работы ВХС, а именно каскада водохранилищ, водозаборов и водосбросов МС.

Водохозяйственная система включает речную сеть с каскадом водохранилищ, расположенную в бассейне реки, и перечень водопользователей (мелиоративных систем - МС), оснащенных гидротехническими сооружениями для забора и сброса воды в речную сеть (водозаборами, насосными станциями, каналами, коллекторами и т.д.).

Научная новизна исследований заключается в том, что совместно решаются не только мелиоративные, но и экологические, технические и эксплуатационные аспекты водообеспечения и водопользования на гидромелиоративных системах.

Составление прогнозной оценки территориального распределения водоресурсного потенциала региона в интересах различных водопользователей

Для регионов, испытывающих дефицит водных ресурсов, необходимо составлять на период вегетации прогнозную оценку водоресурсного обеспечения водопользователей в зависимости от их территориального расположения в бассейне реки и планируемых объемов водопотребления.

Для каждого водопользователя на основе заявок (графиков полива) в период вегетации определяются значения предъявляемых ими требований на воду (номинал и допустимая «урезка» или минимальное значение) в соответствии с текущим состоянием водопотребления и с учетом прогноза.

Требования задаются временными уровенными и расходными значениями для характерных створов русла реки и водохранилищ. Это могут быть верхние и нижние бьефы (ВБ, НБ) гидроузлов, места водозаборов и водосбросов, водопосты и т.д.

Для водохранилищ с гидроэлектростанциями (ГЭС) может быть задано специфическое требование – минимальная и гарантированная установленная мощность.

Для всего прогнозного периода (апрель-сентябрь текущего года) формируется в соответствии с данными Гидрометцентра и СНиП-33-101-2003 посуточный гидрологический ряд приточности (боковой проточности) [1].

Для заданного гидрологического ряда выполняется моделирование, в результате которого определяются режимы работы всех гидроузлов, водозаборов и водосбросов (включая работу насосных станций) водохозяйственной системы (ВХС).

Также на основе водохозяйственных расчетов (ВХР) на период вегетации может быть определен водоресурсный потенциал бассейна и выполнен анализ удовлетворения номинальных требований различных водопользователей.

Далее формируется множество всевозможных приоритетов требований водопользователей. Иерархия приоритетов позволяет сформулировать и решить задачу гидродинамического моделирования с применением модуля «Управляемые сооружения». Таким образом, для выбранной иерархии водопользователей формируется «рациональное» управление на гидроузлах с учетом приоритетов требований водопользователей.

Каждый элемент из этого множества гидродинамических решений оценивается вектором значений функционалов, определяющих сработку водохранилищ в пределах НПУ и УМО и нарушения требований водопользователей по поддержанию номинальных уровней и расходов воды в контролируемых створах.

Сформированное, таким образом, множество векторов значений оценивается Методом достижимых целей и в результате формируется весь спектр кривых границ Парето, позволяющих Лицу, принимающему решение, на основе переговоров с экспертами и водопользователями выбрать «оптимальный» вариант управления.

Через регламентированное время (как правило 1-2 недели) все параметры указанной выше вычислительной цепочки пересчитываются с учетом данных за прошедший период, нового прогноза гидрологической обстановки и уточненных требований водопользователей (графиков полива). Для вновь сформированных данных выполняется расчет на новый период времени (до конца периода вегетации) и принимается новое «оптимальное» управленческое решение. Расчеты повторяются в течение всего вегетационного периода.

Если в результате оптимизации управления попусками для всех цепочек приоритетов не удастся получить приемлемого по обеспеченности требований водопользователей варианта даже с учетом допустимой урезки, то ситуация считается форс-мажорной и требуется принятие решения на более высоком уровне.

В случае частого повторения форс-мажорных ситуаций необходимо спланировать программу мероприятий по улучшению состояния бассейна реки. Например, необходимо запланировать мероприятия по переброске воды из не дефицитных бассейнов, построить новые водохранилища, совершенствовать технологию и технику водопользования, разработать новые правила управления водохранилищами для существующих емкостей и т.д.

Ниже приводятся математические подходы к решению задач водообеспечения пользователей АПК на основе многокритериальной оптимизации и выбора компромиссных решений.

Математическая постановка задачи

Объектом исследования является водохозяйственная система (ВХС), расположенная на водных объектах бассейна реки и предназначенная для обеспечения водопользователей АПК.

Водохозяйственная система включает речную сеть с каскадом водохранилищ, расположенную в бассейне реки, и перечень водопользователей (мелиоративных систем - МС), оснащенных гидротехническими сооружениями для забора и сброса воды в речную сеть (водозаборами, насосными станциями, каналами, коллекторами и т.д.).

Целью исследований является разработка методики для создания Вычислительной технологии (ВТ) формирования «оптимальных» режимов работы ВХС, а именно каскада водохранилищ, водозаборов и водосбросов МС.

Определения

i – номер водохранилища в перечне входящих в ВХС – $i = [1, N]$;

j – номер МС в перечне входящих в ВХС – $j = [1, K]$;

d – день от начала вегетационного периода (апрель – сентябрь) – $d = [1, 184]$;

m_j – номер водозабора (насосной станции - НС) в перечне входящих в j -ую МС – $m_j = [1, M_j]$;

Q_{m_j} – расход воды, с которым осуществляется водоподача на орошение m_j -м водозабором j -ой МС;

Z_{m_j} – отметка воды в водоисточнике, при которой возможен нормальный (рабочий) забор воды m_j -ой НС j -ой МС;

$V_i^{нпу}$ – нормальный подпорный уровень для i -го водохранилища;

$V_i^{умо}$ – уровень мертвого объема для i -го водохранилища.

Математическая модель

По графикам полива, которые заявляются на весь вегетационный период j -ой МС, для m_j -го водозабора формируется временной ряд:

$$\underline{d}_{mj}^1 \leq \bar{d}_{mj}^1 \leq \underline{d}_{mj}^2 \leq \bar{d}_{mj}^2 \leq \dots \leq \underline{d}_{mj}^{sj} \leq \bar{d}_{mj}^{sj} . \quad (1)$$

Здесь \underline{d}_{mj} , \bar{d}_{mj} - начало и окончание заявленного поливного периода. На графике поливов это может быть изображено следующим образом (рис. 1).

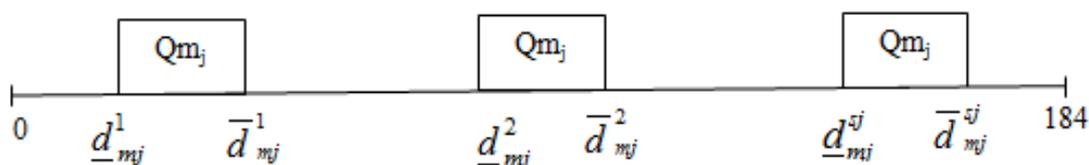


Рисунок 1 - График поливов по заявке в период вегетации для m_j -го водозабора j -ой МС

Объем забираемой по заявке в период вегетации воды j -ой МС W_j вычисляется по формуле:

$$W_j = \sum_{m_j} W_{m_j} = \sum_{m_j} \sum_{s \in \zeta} k Q_{m_j} (\bar{d}_{mj}^s - \underline{d}_{mj}^s) . \quad (2)$$

Здесь W_{m_j} – объем заявки для m_j -го водозабора j -ой МС;

К- переводной коэффициент расходов воды в объемы равный 0.0864.

Пусть H_{mj}^d - реальный уровень воды в день d на m_j -ом водозаборе j -ой МС, полученный на основе гидродинамического моделирования в среде MIKE 11 с применением модуля «Управляемые сооружения» с принятой иерархией значимости водопользователей.

Введем функцию перебоев $P(\underline{d}_{mj}^s, \bar{d}_{mj}^s)$, определяющую количество дней в интервале $(\underline{d}_{mj}^s, \bar{d}_{mj}^s)$, в которых выполняется условие $H_{mj}^d \geq Z_{mj}$; $\underline{d}_{mj}^s \leq d \leq \bar{d}_{mj}^s$ (уровень в водоисточнике больше или равен минимальному рабочему уровню). График реальных поливов выглядит следующим образом (рис. 2).

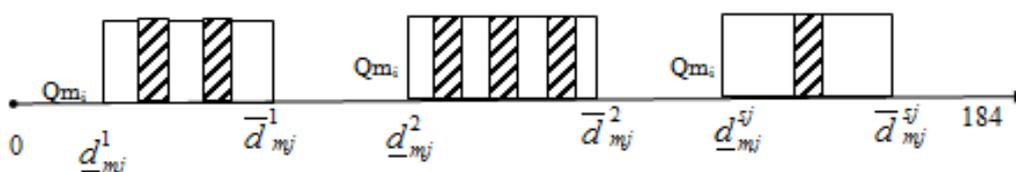


Рисунок 2 – График реальной работы водозабора m_j j -ой МС в период вегетации

Тогда объем реально забранной воды j -ой МС в вегетационный период вычисляется по формуле:

$$W_j^* = \sum_{mj} W_{mj}^* = \sum_{mj} \sum_s k Q_{m_i} P(\underline{d}_{mj}^s, \bar{d}_{mj}^s). \quad (3)$$

Здесь W_{mj}^* – объем реально забранной воды m_j -м водозабором j -ой МС.

Таким образом, дефицит в процентах в период вегетации для j -ой МС составит:

$$D_j = \frac{W_j - W_j^*}{W_j} * 100\% = 1 - \frac{W_j^*}{W_j}, \quad (4)$$

или обеспеченность j -ой МС в период вегетации

$$C_j = \frac{W_j^*}{W_j} \times 100\%. \quad (5)$$

Пусть V_i –реальный объем i -го водохранилища к концу половодья, полученный на основе гидродинамического моделирования в среде MIKE 11 с применением модуля «Управляемые сооружения» с принятой иерархией значимости водопользователей.

Тогда для водохранилища i функция дефицита E_i в процентах определяется по формуле:

$$E_i = \frac{V_i^{нну} - V_i}{V_i^{нну} - V_i^{умо}} \times 100\%. \quad (6)$$

Алгоритм решения оптимизационной задачи

1. Определяем посуточную прогнозную приточность к водохранилищам;

2. На основе заявленных до конца вегетации графиков поливов формируем требования водопользователей;

3. Определяем множество всевозможных вариантов приоритетов водопользователей;

4. Для каждого варианта выбранной иерархии приоритетов формируем исходные данные и выполняем гидродинамическое моделирование в среде MIKE 11 с применением модуля «Управляемые сооружения»;

5. Для каждого варианта t выбранной иерархии приоритетов на основе моделирования определяем вектор значений дефицита для водопользователей и водохранилищ.

$$\{ D_1^t, D_2^t, \dots, D_k^t, E_1^t, E_2^t, \dots, E_N^t \} \quad (7)$$

6. Из всех полученных векторов строим спектр решений и методом достижимых целей строим набор границ Парето (недоминируемых решений) для построенной матрицы;

7. На основе обсуждения с водопользователями результатов, полученных при построении пространства решений, выбираем «оптимальное» в смысле Парето решение, определяющее режимы работы всех водохранилищ, входящих в ВХС.

8. Формирование режимов работы водохранилищ ВХС уточняется и пересчитывается раз в две недели в течении всего периода вегетации.

Краткие выводы: Разработана методика оптимального управления водопотреблением и водопользованием на гидромелиоративных системах.

Разработана содержательная и математическая постановка оптимизационной задачи, сформулирован алгоритм решения на основе гидродинамической модели и теории компромиссов, учитывающий противоречивость требований водопользователей.

Список использованных источников

1. СНиП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик, Государственный комитет российской федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России); Москва 2004.

УДК 631.6

МОНИТОРИНГ ВОДОПРОВОДЯЩИХ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Головинов Е.Э., Киселев С.А., Семенова К.С.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Статья посвящена обоснованию использования дистанционного зондирования для актуального современного мониторинга состояния мелиоративной системы. В статье приведен анализ существующих платных и бесплатных баз

данных спутниковых снимков. На основе выбранной оптимальной базы приведены результаты расчетов вегетационного индекса и индексов влаги с последующей оценкой по ним состояния мелиоративной системы.

Ключевые слова: МОНИТОРИНГ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ, ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ИНДЕКС, ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ИНДЕКС ВЛАГИ.

К одной из основных причин неэффективного использования мелиорированных земель относится частичное или практически полное отсутствие информации об эффективности их функционирования в изменяющихся почвенно-климатических и организационно-хозяйственных условиях, об отклонении от проектных технических и технологических параметров водопроводящей системы и технологии полива сельскохозяйственных культур.

Особое значение приобретает мониторинг мелиоративных систем с целью предупреждения и устранения негативных процессов, а также дальнейшего прогнозирования неисправностей.

В качестве исходных данных для мониторинга могут выступать спутниковые снимки и снимки с камер беспилотных летательных аппаратов или дистанционное зондирование.

Алгоритм выбора снимков для мониторинга базируются на выявлении яркостных неоднородностей. В программе черно-белый мультиспектральный снимок синтезируется и получается цветное изображение понятное для восприятия человека.

Обработанные снимки используют для оценки продуктивности выращиваемых культур с помощью рассчитываемого в результате операций с разными спектральными диапазонами (каналами) данными дистанционного зондирования и характеризующий параметры растительности в данном пикселе снимка – вегетационного индекса.

Из числа Вегетационных индексов самым распространенным и действенным является NDVI – **Normalized Difference Vegetation Index** или нормализованный относительный индекс растительности. Рассчитывается NDVI по формуле:

$$NDVI=(NIR-VIS)/(NIR+VIS),$$

где NearIR (NIR) – отражение в ближней инфракрасной области спектра, VIS – отражение в видимой области спектра.

В видимой области спектра (0,4-0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,7-1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. То есть высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в видимой области спектра и большему в инфракрасной. На основании анализа снимков вегетационного индексы можно выявлять деградацию растительности, неоднород-

ность качества всходов, что указывает на неисправности мелиоративной системы, например, связанная с неравномерным орошением или осушением

Для характеристики влагообеспеченности и увлажненности территории является относительные индексы влаги NDWI, LMI и NDB4B6.

Совместное использование эти индексов дополняет друг друга, они позволяют исключать проблемы, несвязанные с состоянием данных систем на участках, что случается при анализе по косвенным признакам.

$NDWI=(B6-B5)/(B6+B5)$ (нормализованный разностный водный индекс) – содержание воды в зеленой биомассе;

$LMI =B6/B5$ содержание влаги в зеленой фитомассе;

$NDB4B6=(B5-B10)/(B5+B10)$ – влажность поверхности

По результатам обработки мультиспектрального изображения можно выявлять неравномерное распределение влаги по площади мелиорируемого участка, что может указывать на неправильную работу системы орошения или осушения, дешифровать различные аварии, прорывы каналов. Также использование данного индекса позволяет предвидеть негативные последствия для урожая, пока они еще не наступили. Кроме того, некоторые аварии, такие как прорывы каналов и плотин (хоть такое бывает крайне редко), дешифрируются по снимкам точно.

На текущий момент группировка спутников, занимающихся съемкой поверхности Земли, насчитывает десятки систем, что гарантирует высокую актуальность данных: даже в пределах одной системы временной период между съемкой одного участка местности может занимать меньше одной недели.

Однако спутниковые снимки высокого разрешения (более 10 метров на 1 пиксель) не распространяются бесплатно – такие снимки надо покупать у специализирующихся на их получении фирм. На отечественном рынке данной информацией обладают такие организации как Иннотер, СКАНЭКС, Ракурс, Совзонд, научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ)

Например, средняя цена на спутниковые снимки сверхвысокого разрешения от ресурса Иннотер (не учитывая IRS-P6) равна примерно 20-ти долларам за квадратный километр. Что можно считать дорогостоящими для мониторинга мелиоративных систем.

Очевидно, что покупка дорогостоящих космических снимков для без того затратного мониторинга мелиоративных систем является экономически не эффективным, рассмотрим аналогичные бесплатные ресурсы. К одним из них относятся онлайн сервисы GoogleMaps, GoogleEarth, Яндекс.карты, «Космоснимки», OpenStreetMap, BingMaps, DigitalGlobe, YahooMaps, VirtualEarth, Gurtam, eAtlas, iPhonemaps, карты Генштаба и подобных. Но форма однослойного графического файла исключает возможность проводить необходимую обработку, информация в данных сервисах недостаточно актуальна (более месяца).

Однако есть источники космической информации, предлагающие мультиспектральные снимки с постоянным бесплатным обновлением сверхвысокого разрешения. в порталах: Libra, ESA, EarthExplorer (USGS), GLOVIS (USGS)

Созданный разработчиками из DevelopmentSeed сервис **Libra** представляет из себя масштабируемую карту, где для выбора участка, на который требуется снимок надо масштабировать область или часть ее в центре экрана. Дополнительными параметрами для ограничения результатов поиска являются указатель временного интервала, шкала облачности и освещенности.

К плюсам данного источника снимков можно отнести простоту получения информации и удобство интерфейса, к недостаткам – наличие только снимков Landsat-8, а также тот факт, что, по-видимому, не все снимки, которые можно скачать с портала-источника, отображаются в Libra.

Спутниковые снимки **Sentinel** свободно распространяет **Европейское космическое агентство** (англ. *EuropeanSpaceAgency, ESA*) спутниковые и радарные снимки своих действующих систем.

Подбор снимка на ESA осуществляется по тем же принципам, что и на других сайтах.

Наконец последний и самый значимый источник космических снимков портал **Геологической службы США** (

(Сайт USGS EarthExplorer) свободно распространяет самый большой архив космических снимков разных типов – радарные данные, мультиспектральные снимки (Landsat-4), разного рода рассчитанные индексы и подобные. Однако сразу стоит ограничить число актуальных для мониторинга систем следующими спутниками – Sentinel-2 и Landsat-7/8.

Эта же геологическая служба имеет в своем распоряжении аналогичный сервис **GLOVIS**, располагающий аналогичными снимками, но реализованный немного иначе: в нем вместо выбора участка территории надо просто центрировать нужный на экране, и сайт сам предложит все имеющиеся снимки нужного космического аппарата на этот участок.

Принципы анализа космических снимков для установления неисправностей в мелиоративных системах

Большинство бесплатных высококачественных снимков Landsat имеют неудовлетворительное (10 м на 1 пиксель) качество. Для увеличения качества снимка применяют алгоритм **панхроматическим слиянием** (Pan-sharpening), позволяющий увеличить качество изображения и перевести в цветной.

Синтезированный снимок Landsat-7/8 можно увеличить до 15 м на 1 пиксель, что позволяет регистрировать разность яркостей на маленьких участках. Данный алгоритм работает со всеми мультиспектральными снимками, если есть панхроматический канал. В случае со снимками Sentinelc разрешением 10 м необходимости использовать алгоритмы, повышающие разрешение, нет.

На этом этапе мониторинга уже появляется возможность выявлять такие неполадки как закустаривание мелиоративных земель и каналов, разрушение гидроузлов, сильное заболачивание и эрозия.

Результаты экспериментальных исследований

Для апробации разработанного алгоритма была выбрана орошаемая территория **Волгоградской области**. Для этой области был найден снимок Landsat-8 от 17 августа 2016 года, загружен с портала USGS EarthExplorer. На выбранном участке различимы разного вида оросительные системы: с использованием дождевальными машинами кругового действия и внутрипочвенное орошение открытыми каналами (рис. 2). Так же на снимке видно большое разнообразие участков, как засеянных различными культурами, так и пустующих.



Рисунок 2 - Необработанный снимок Landsat-8 на Волгоградскую область увеличенный

Для дальнейшей обработки снимка и его максимального улучшения качества использован алгоритм панхроматического слияния (Pan-Sharpening) методом слияния Gram-Schmidt. Он основан на общем алгоритме для векторной ортогонализации – ортогонализации Gram-Schmidt. Результатом обработки получился синтезированный снимок с разрешением 15 м на 1 пиксель.

Для расчета индекса вегетации и влажности необходимо провести предварительную обработку снимков – **радиометрическую коррекцию**. При радиометрической коррекции также удаляются дефекты изображения, наблюдаемые как сбойные пиксели изображения.

В результате расчёта относительного индекса растительности – NDVI получаем изображение (рис. 3)

На полученном изображении красным цветом представлена густо растущая растительность, характеризующаяся большим количеством хлорофилла. Салатовым и желтым обозначены зоны с наименьшим содержанием зеленого вещества или просто открытый грунт (зеленым цветом).

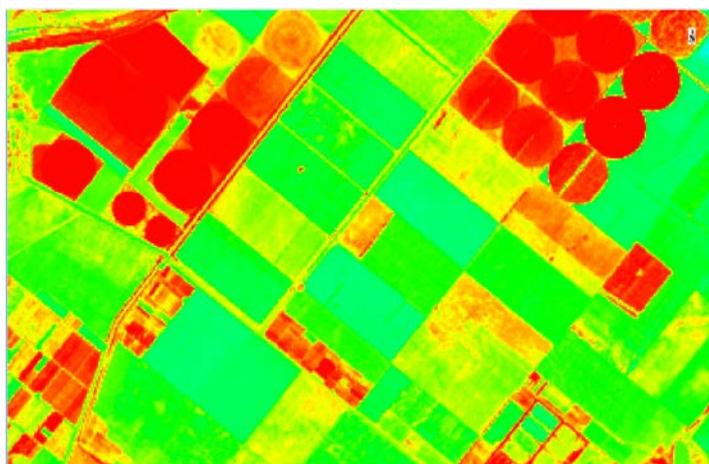


Рисунок 3 - Индекс NDVI представленный градиентом Rainbow

Пригодность использования снимков Landsat подтверждает факт способности сенсора космического аппарата регистрировать переходы яркостей в пределах одного небольшого участка.

Неоднородность цвета свидетельствует о состоянии развития растений: – однородность цвета отражает его где-то состояние более однородное, приводящее к получению полного богатого урожая, где-то неравномерный рост растений возможно с частичным увядание и последующей снижением урожая. Неравномерное увлажнение почвы является одной из причин такого состояние, доказательства представлены ниже.

Помимо вегетационных индексов существуют индексы содержания влаги в биомассе. Чем темнее цвет, тем больше содержания влаги в биомассе растения (рис. 3.1, 3.2, 3.3). Распределение влаги получилось чуть равномернее, нежели хлорофилла, и видно, что оценить увлажнённости по синтезу невозможно.

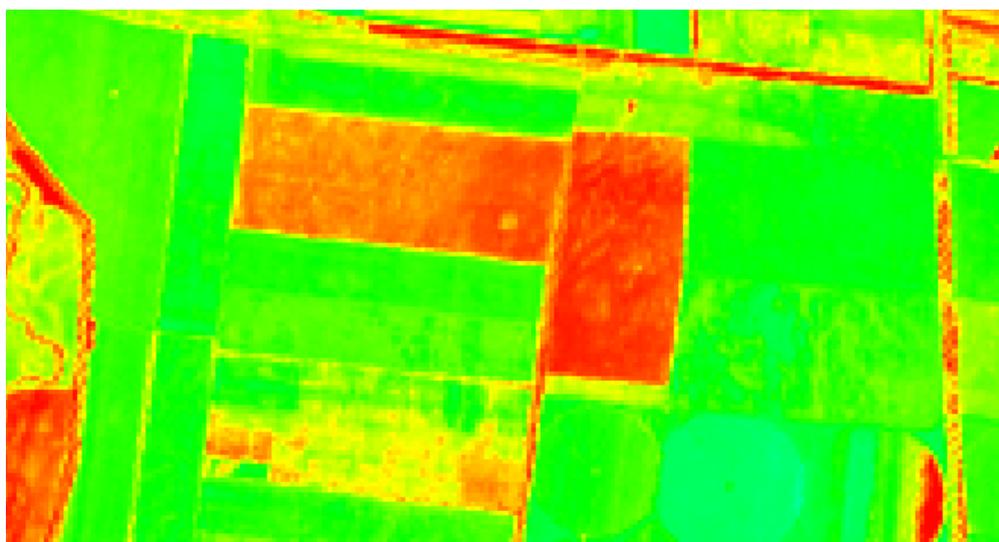


Рисунок 3.0 - Сравнение синтезированного снимка и NDVI

При сравнении синтезированного снимка и снимка индекса NDVI (рис. 3.0) наблюдается процесс зарождения эрозии на ранней стадии. Связано это с про-

странственным разрешением, используемое NDVI, ниже того, что было получено после панхроматического слияния. Таким образом, использование двух-этапного мониторинга оправдано.

На всех изображениях рассчитанных индексов влаги (рисунок 3.1, 3.2, 3.3, 3.4) выявлен фрагмент, резко контрастирующий с окружающей средой. Сравнивая индекс **NDB4B6** с качественным изображением синтезированного снимка, по очертаниям разводов, свойственных подтоплениям территории, можно определить, что на данном участке происходит процесс подтопления. Также отсутствие там растительности исключает вероятность неоднородности по причине каких-либо других факторов.

По результатам анализа можно утверждать, что данный алгоритм применим для мониторинга элементов мелиоративных систем и позволяет выявлять неоднородности на участках, которые могут указывать на проблемы в системе.



Рисунок 3.1 – Синтезированный снимок



Рисунок 3.2 - Индекс NDWI

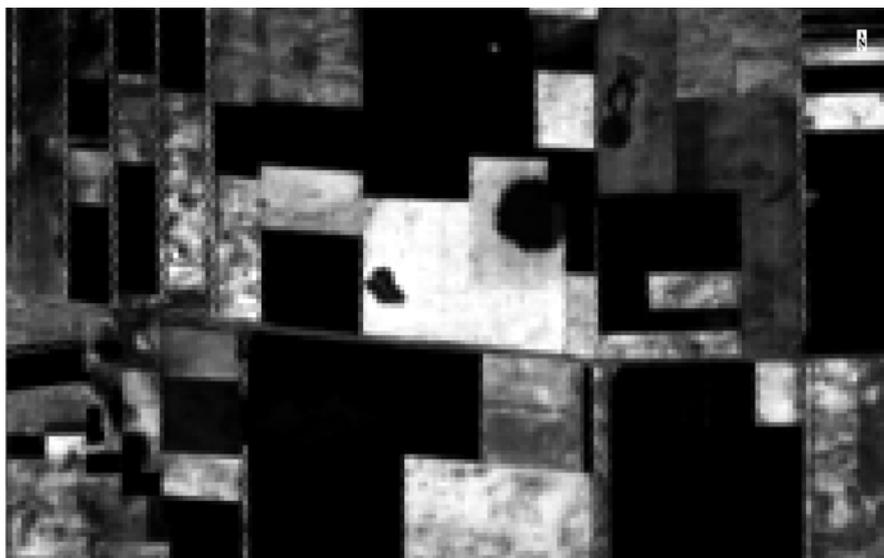


Рисунок 3.3 - Индекс LMI

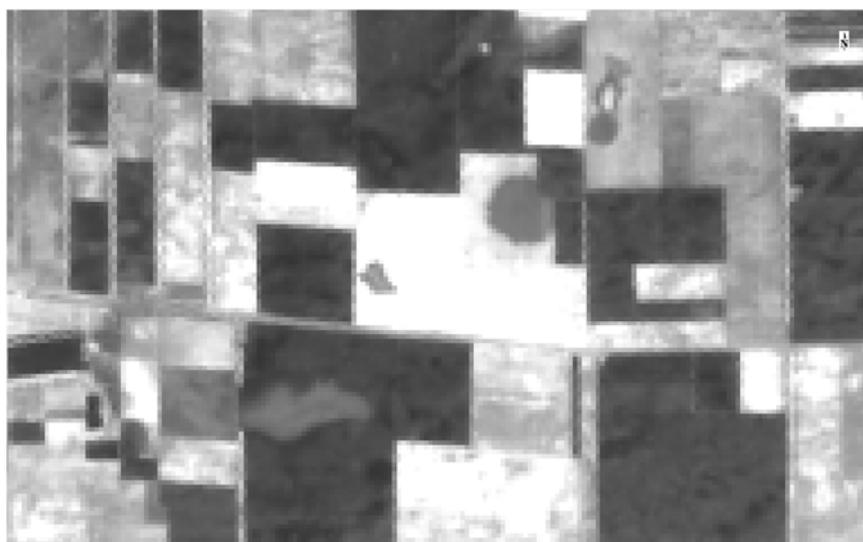


Рисунок 3.4 - Индекс NDB4B6

Выводы:

Из доступных актуальных бесплатных снимков, которые постоянно пополняют свою базу относятся: Landsat-7, Landsat-8 и Sentinel-2. Источниками этих мультиспектральных снимков с постоянным бесплатным обновлением базы сверхвысокого разрешения являются порталы Libra, ESA, EarthExplorer (USGS), GLOVIS (USGS).

Теоретически обосновано применение алгоритма (синтезированный снимок и расчёт индексов) обработки спутниковых снимков для мониторинга мелиоративной системы, позволяющего оперативно выявлять отклонения от проектных параметров и анализировать динамику изменений состояния системы в процессе ее эксплуатации. Двухэтапный анализ позволяет выявить максимальное число неисправностей по прямым и косвенным признакам.

В результате обработки синтезированный снимок Волгоградской области высокого разрешения позволяет выявить эрозию почвенного покрова на ранних

стадиях (до 7% от площади участка), а анализ снимков рассчитанных индексов позволил определить неравномерного увлажнения территории с зонами подтопления и соответственно такого же неравномерного развития растений, приводящего местами к снижению урожайности, что невозможно сделать при анализе снимков в видимом диапазоне. Отмеченный способ регистрации изменений в мелиоративной системе можно рассматривать как вариант оперативного мониторинга с помощью дистанционного зондирования.

УДК 631.674.2: 626.841 (470.47)

ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ЛИМАННЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ КАЛМЫКИИ

Дедова Э.Б., Дедов А.А., Шабанов Р.М.

КФ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Приводятся методология и результаты эколого-мелиоративного мониторинга на системах лиманного орошения Калмыкии и комплекс мероприятий по созданию экологически устойчивых лиманных агроэкосистем, для повышения их кормовой продуктивности.

Ключевые слова: ЛИМАННОЕ ОРОШЕНИЕ, ПОЧВЫ, МОНИТОРИНГ, ЭКОЛОГИЯ, ЗАСОЛЕНИЕ, ГУМУС, АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, РЕЖИМ ЗАТОПЛЕНИЯ, УДОБРЕНИЯ, ПРОДУКТИВНОСТЬ.

Продуктивность лиманных экосистем, существенным образом, зависит от уровня эколого-мелиоративного состояния земель и природных кормовых угодий. Оценка и прогнозирование эколого-мелиоративной обстановки на системах лиманного орошения осуществляется на основе почвенно-мелиоративной и солевой съемки, а также геоботанических обследований, с использованием материалов аэрокосмической фотосъемки текущего года или прошлых сроков (но не более 2-3 летней давности, масштаб съемки не крупнее 1:25000).

К основным показателям эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель лиманных систем, подлежащим определению, относятся:

- степень засоленности почв и подстилающих их пород в слоях 0-1,0 и 0-2,0 м, общие запасы токсичных солей;
- степень солонцеватости почв и их комплексность;
- глубина залегания, общая минерализация и химический состав грунтовых вод;
- степень заболоченности лиманных массивов;
- уровень плодородия почв (гумусированность и содержание питательных элементов);
- степень загрязнения почв тяжелыми металлами;
- гидрофизические показатели почв (гранулометрический состав, плотность и водопроницаемость);

- качество оросительной воды.

Методологической основой для проведения мониторинга мелиоративной обстановки являются принципы, разработанные на основе современных эколого-адаптивных подходов [3-5, 8] (табл. 1). Во ВНИИГиМ разработаны соответствующие зональные шкалы оценки: эколого-мелиоративного состояния лиманных орошаемых земель (табл. 2); наличия макроэлементов в почвах (табл. 3); уровня загрязнения почв химическими элементами (табл. 4) [2, 4-5, 7].

В соответствии с общепринятой классификацией [8], при оценке эколого-мелиоративного состояния земель лиманного орошения выделяются три категории:

а) хорошая мелиоративная обстановка на лиманных массивах, характеризующаяся тем, что почвы в верхнем слое 0-1,0 м незасолены и несолонцеваты, их плодородие находится на высоком уровне, грунтовые воды стабильно залегают ниже оптимальной (экологически благоприятной) глубины. Отсутствует угроза подъема грунтовых вод, вторичного засоления, осолонцевания и заболачивания. Гарантировано получение проектного урожая на сенокосных угодьях, соответствующего уровню плодородия почв и биологической урожайности культур.

б) удовлетворительное мелиоративное состояние лиманных земель, при котором почвы имеют слабую и среднюю степень засоления и солонцеватости, грунтовые воды залегают в пределах от критической (экологически предельно допустимой) до оптимальной с экологической точки зрения глубины. Агрохимические свойства почв характеризуются средними показателями. Почвы комплексные с содержанием солонцов 10-25%, и частично заболоченные. Угроза широкого развития негативных процессов отсутствует. Возможная урожайность сена естественных трав не превышает 70-90% от проектного уровня;

в) неудовлетворительное мелиоративное состояние земель, когда почвы засолены и осолонцованны выше среднего уровня, солонцы занимают 25-50% площади почвенного комплекса и агрохимические показатели почв находятся на низком уровне.

Характеристика эколого-мелиоративного состояния по отдельным участкам лиманного орошения на территории Калмыкии осуществлялась на основе многолетних обследований, результаты которых находятся в научном фонде КФ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» [10]. За период интенсивной эксплуатации инженерных систем, который продолжается на протяжении последних 30-40 лет и связан с ежегодной их подпиткой от каналов крупных обводнительно-оросительных систем (Сарпинской и Черноземельской) без соблюдения оптимальных режимов затопления и сброса излишков воды, произошло ухудшение эколого-мелиоративной обстановки практически на всей площади лиманных сенокосов [1, 2, 4-6, 9].

Таблица 1 – Общие принципы осуществления оценки эколого-мелиоративного состояния земель лиманного орошения и выбора мероприятий по его улучшению

Градации уровней эколого-мелиоративного состояния	Оценочные показатели и их критерии							Направленность мероприятий по улучшению эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель
	Глубина залегания грунтовых вод (h), м	Степень засоления и осолонцевания почв	Степень заболачивания почв	Минерализация оросительной	Уровень плодородия почв	Гидрофизические свойства	Водобеспеченность	
Хорошее	$h > 3,0$	ниже критических значений		выше критических значений			Эксплуатация систем ведется в соответствии с проектными показателями. Мелиоративные и агротехнические мероприятия должны способствовать сохранению существующего состояния земель и его дальнейшему улучшению	
Удовлетворительное	$h_{кр.} \leq h \leq 3,0 \dots 5,0$	меньше или близкое к критическим		меньше или близкое к критическим			Комплекс мер по регулированию поверхностного стока, сокращение приходных статей баланса грунтовых (отвод излишков воды, плановое водопользование, корректировка режимов затопления). При намечающихся процессах засоления и осолонцевания – улучшение качества оросительных вод и применения предупреждающих мер (гипсование и др.)	
	$h \leq 3,0 \dots 5,0$	близкие к критическим		близкие к критическим				
	$h > 3,0$	близкие к критическим		близкие к критическим				
Неудовлетворительное	$h \leq h_{кр.}$ (при минерализации более 3,0 г/л)	любые значения		любые значения			Радикальные мероприятия: строительство коллекторно-дренажной сети, рациональное регулирование поверхностного стока.	
	$h \leq h_{кр.}$ (минерализация 1,0 г/л)	выше критических значений		ниже критических значений			Профилактические мероприятия: улучшение качества оросительной воды и корректировка режимов затопления, применение физических, химических и биологических способов борьбы с засолением и осолонцеванием (глубокое рыхление, внесение хим. мелиорантов, возделывание растений – галофитов и т.д.).	
	$h \geq h_{кр.}$	выше критических значений		ниже критических значений				

Таблица 2 – Зональная шкала оценки эколого-мелиоративного состояния земель лиманного орошения

№ п/п	Оценочные показатели	Градация земель по эколого-мелиоративному состоянию		
		хорошее	удовлетворительное	Неудовлетворительное
1.	Содержание воднорастворимых солей в слое почвы 0-1,0 м, % от массы почвы	0,16...0,28	0,28...0,60	более 0,60
2.	Доля обменного натрия в емкости катионного обмена, %	до 5,0	5,0...10,0	более 10,0
3.	Глубина залегания солевого горизонта, м	глубже 1,0	0,5...1,0	менее 0,5
4.	Коэффициент дисперсности почв	менее 5	5...15	более 15
5.	Содержание гумуса в слое почвы 0...0,4 м, %	более 3,0	1,0...3,0	менее 1,0
6.	Содержание питательных элементов в слое почвы 0...0,2 м (мг/кг): - легкогидролизруемый азот - подвижный фосфор (P ₂ O ₅) - обменный калий (K ₂ O)	более 10,0 более 15,0 более 300,0	5,0...10,0 10,0...15,0 100,0...300,0	менее 5,0 менее 10,0 менее 100,0
7.	Плотность почвы в слое 0...1,0 м (мЗ/т)	менее 1,5	1,5...1,7	более 1,7
8.	Водопроницаемость слоя почвы 0...1,0 м (мЗ/га за 1 ч)	500...750	250...500	менее 250
9.	Глубина залегания грунтовых вод (м) при их минерализации (г/л): - менее 1,0 - 1,0...3,0 - 3,0...5,0 - 5,0...10,0 и более	более 1,8 более 2,2 более 2,8 более 3,2	1,5...1,8 1,8...2,2 2,2...2,8 2,8...3,2	менее 1,5 менее 1,8 менее 2,2 менее 2,8
10.	Минерализация оросительной воды, г/л	менее 1,0	1,0...2,0	более 2,0
11.	Обеспеченность водными ресурсами, %	50,0 и более	25,0...50,0	менее 25,0
12.	Степень заболачивания, % от площади лимана	менее 10,0	10,0...20,0	более 20,0

Таблица 3 – Шкала оценки уровня содержания микроэлементов в почвах лиманов [3, 8]

Наименование химического элемента	Уровень содержания элементов в почве (мг/кг)					
	Очень низкий	Низкий	Средний	Повышенный	Высокий	Очень высокий
Ртуть (Hg)	<0,05	0,05...0,1	0,1...1,0	1,0...2,5	2,5...5,0	>5,0
Кадмий (Cd)	<0,05	0,05...0,1	0,1...1,0	1,0...2,0	2,0...4,0	>4,0
Кобальт (Co)	<0,1	0,1...0,5	0,5...3,0	3,0...15,0	15,0...30,0	>30,0
Мышьяк (As)	<0,2	0,2...1,0	1,0...5,0	5,0...10,0	10,0...15,0	>15,0
Селен (Se)	<0,2	0,2...1,0	1,0...5,0	5,0...10,0	10,0...15,0	>15,0
Фтор (F)	<0,2	0,2...1,0	1,0...5,0	5,0...10,0	10,0...15,0	>15,0
Молибден (Mo)	<0,3	0,3...0,8	0,8...2,0	2,0...20,0	20,0...40,0	>40,0
Бор (B)	<0,5	0,5...2,0	2,0...10,0	10,0...50,0	50,0...130,0	>130,
Ванадий (V)	<2,0	2,0...5,0	5,0...10,0	10,0...30,0	30,0...75,0	>75,0
Никель (Ni)	<3,0	3,0...10,0	10,0...20,0	20,0...50,0	50,0...100,0	>100,0
Медь (Cu)	<3,0	3,0...10,0	10,0...20,0	20,0...50,0	50,0...100,0	>100,0
Свинец (Pb)	<5,0	5,0...15,0	15,0...30,0	30,0...75,0	75,0...150,0	>150,0
Хром (Cr)	<6,0	6,0...20,0	20,0...50,0	50,0...100,0	100,0...200,0	>200,0
Цинк (Zn)	<8,0	8,0...30,0	30,0...75,0	75,0...200,0	200,0...400,0	>400,0
Марганец (Mn)	<100,0	100,0...300,0	300,0...800,0	800,0...1000,0	1000,0...2000,0	>2000,0

Существует реальная угроза развития негативных процессов вторичного засоления, осолонцевания, деградации плодородия и заболачивания.

Под критическими (предельно экологически допустимыми) значениями показателей эколого-мелиоративного состояния затопляемых лиманных земель являются такие их значения, при которых наблюдается процесс вторичного засоления и осолонцевания среднего уровня, а также снижения естественного плодородия почв до 30% и выше.

Данная негативная тенденция подтверждена в ходе наших исследований, проведенных в период 2008-2017 гг. (рис. 1-3).

Таблица 4 – Шкала оценки уровня загрязнения земель лиманного орошения химическими элементами [3,8]

Химический элемент	Предельно-допустимая концентрация, мг/кг	Содержание (мг/кг), соответствующее степени загрязнения				
		Загрязнение отсутствует (экологически безопасный)	Низкий (допустимый)	Средний (предельно допустимый)	Высокий (опасный)	Очень высокий (чрезвычайно опасный)
Ртуть	2,1	<2,1	2,1...3,0	3,0...5,0	5,0...10,0	>10,0
Кадмий	2,0	<2,0	2,0...3,0	3,0...5,0	5,0...20,0	>20,0
Мышьяк	10,0	<10,0	10,0...20,0	20,0...30,0	30,0...50,0	>50,0
Селен	10,0	<10,0	10,0...15,0	15,0...20,0	20,0...35,0	>35,0
Фтор	10,0	<10,0	10,0...15,0	15,0...25,0	25,0...50,0	>50,0
Молибден	15,0	<15,	15,0...40,0	40,0...100,0	100,0...200,0	>200,0
Кобальт	25,0	<25,0	25,0...50,0	50,0...150,0	150,0...300,0	>300,0
Ванадий	150,0	<150,0	150,0...225,0	225,0...300,0	300,0...350,0	>350,0
Никель	50,0	<50,0	50,0...150,0	150,0...300,0	300,0...500,0	>500,0
Медь	55,0	<55,0	55,0...200,0	200,0...300,0	300,0...500,0	>500,0
Свинец	32,0	<32,0	32,0...125,0	125,0...250,0	250,0...600,0	>600,0
Хром	90,0	<90,0	90,0...250,0	250,0...500,0	500,0...800,0	>800,0
Цинк	100,0	<100,0	100,0...500,0	500,0...1500,0	1500,0...3000,0	>3000,0
Бор	40,0	<40,0	40,0...100,0	100,0...200,0	200,0...300,0	>300,0

Полупустынная природно-климатическая зона на территории республики занимает ее северную и северо-восточную часть, куда целиком входят Малодербетовский, Октябрьский и Сарпинский районы, а также Кетченеровский район (северная часть). Лиманные массивы имеются во всех районах, но сейчас регулярно используются только участки, затапливаемые оросительными и сбросными водами Сарпинской обводнительно-оросительной системы. Инженерные СЛЮ расположены в Малодербетовском и Октябрьском районах.

В полупустынной зоне преобладают лиманные понижения с тяжелыми луговыми, лугово-лиманными и лугово-каштановыми почвами, водная подпитка которых осуществляется по каналам Сарпинской обводнительно-оросительной системы (СООС) с забором из р. Волга. Здесь наблюдаются процессы азотного истощения почв, переуплотнения, засоления и осолонцевания.

Пустынная природно-климатическая и ландшафтная зона размещается на востоке и юге Республики Калмыкия и охватывает территориально Кетченеровский, Целинный, Яшкульский, Юстинский, Черноземельский, Лаганский и Ики-

Бурульский районы. Здесь же расположены участки лиманного орошения, которые эксплуатируются регулярно только в Кетченеровском, Целинном, Яшкульском и Черноземельском районах.

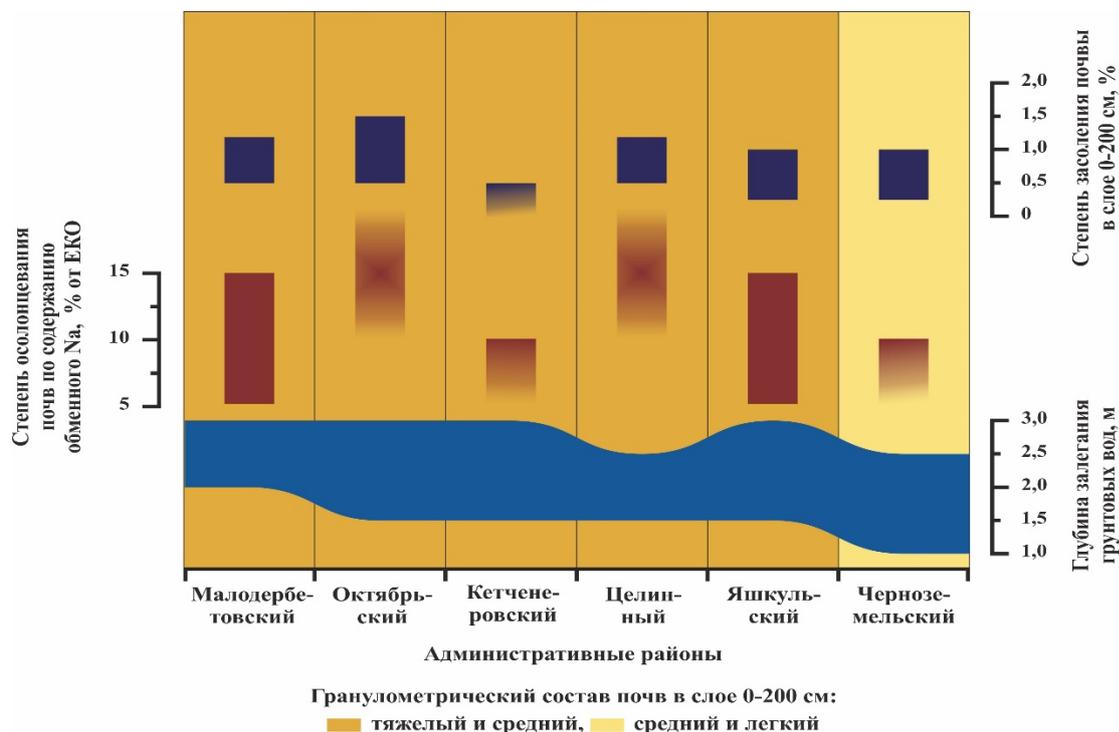


Рисунок 1 – Показатели почвенно-мелиоративного состояния лиманных агроэкосистем Калмыкии

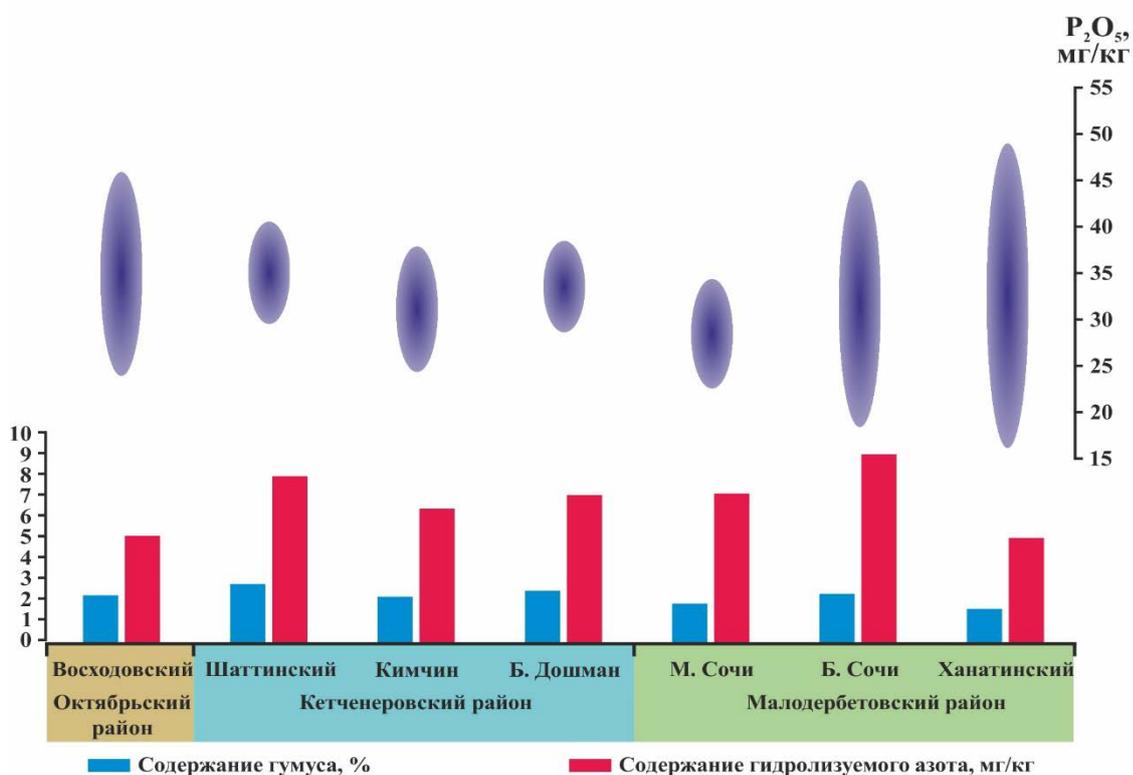


Рисунок 2 – Агрохимические показатели лиманных агроэкосистем полупустынной зоны Калмыкии

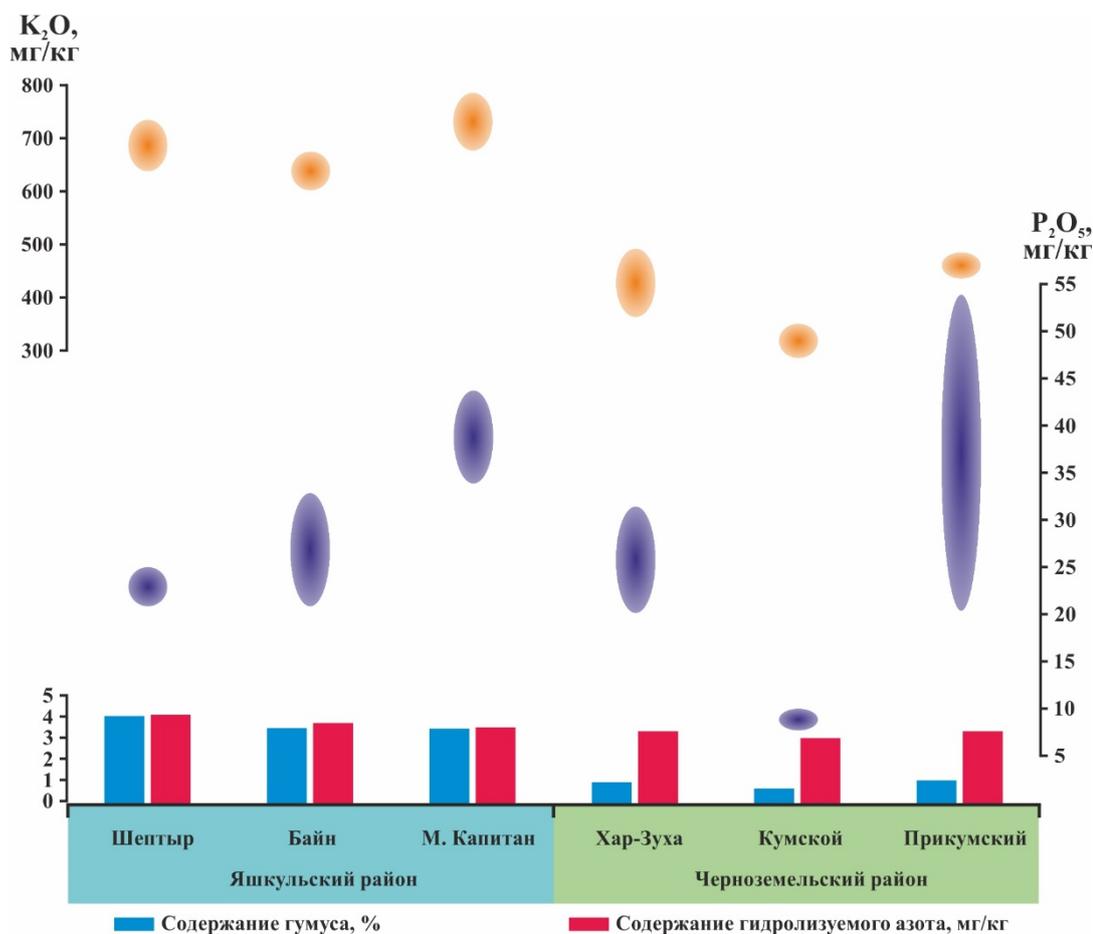


Рисунок 3 – Агрохимические показатели лиманных агроэкосистем пустынной зоны Калмыкии

Участки лиманного орошения подпитываются от каналов Черноземельской ООС с водоисточником – Чограйским водохранилищем, пополняемым паводковыми водами рек Терек и Кума. Почвенный покров лиманов представлен тяжело- и среднесуглинистыми луговыми, лугово-каштановыми, лугово-бурыми почвами. Для них характерны снижение содержания питательных элементов (азота и фосфора), переуплотнение, а также вторичное засоление и осолонцевание. На юге пустынной зоны лиманные участки имеют зональные типы почв – лугово-бурые и бурые полупустынные легкого гранулометрического состава с очень низким содержанием гумуса и питательных веществ.

Для оздоровления экологической обстановки и повышения продуктивности земель лиманного орошения требуется выполнение комплекса мероприятий (табл. 5).

В первую очередь, необходимо осуществить реконструкцию имеющихся инженерных участков СЛО с приведением в нормальное рабочее состояние всех элементов и конструкций (подводящих и сбросных каналов, разделительных и ограждающих валов и дамб, гидротехнических сооружений и др.), обеспечивающих затопление и подачу необходимых оросительных норм 2,5-4,0 тыс. м³ на 1 га в течение 5-20 дней, своевременный сброс излишков воды и отвод дренажных стоков.

Таблица 5 – Общая характеристика мероприятий по созданию высокопродуктивных и экологически устойчивых лиманных мелиоративных агроэкосистем на территории Калмыкии

№ п/п	Наименование мероприятия	Оценочные, нормативные и технологические показатели
1.	Регулирование водного режима в зависимости от типа почв и вида растительности на лиманах	Нормы затопления от 1500 до 4000 тыс.м ³ на 1 га
2.	Регулирование продолжительности стояния воды в лиманах в зависимости от типа почв и вида растительности на лиманах	От 2 до 50 суток
3.	Формирование высокопродуктивного травостоя на землях лиманного орошения	Подсев и посев естественных трав или сельскохозяйственных культур
4.	Улучшение плодородия лиманных почв	Внесение органических и минеральных удобрений
5.	Улучшение водно-физических и структурных свойств почв	Глубокое рыхление, щелевание и кротование на глубину 0,4-0,6 м.
6.	Формирование промывного режима с целью предотвращения и ликвидации засоления и осолонцевания почв	Устройство дренажно-сбросной сети с отводом стока за пределы лиманной системы
7.	Совершенствование конструкций систем лиманного орошения (ГТС и земляных валов)	Обеспечение форсированной подачи воды удельным расходом не ниже 20 л/с на 1 га; площадь ярусов и чеков не более 100 га
8.	Регулирование качественного состава поливной воды, используемой для затопления лиманов	Минерализация воды не более 3,0 г/л
9.	Окультуривание солонцовых почв на лиманах	Внесение химических мелиорантов (фосфогипса и др.)-3-16 т/га
10.	Внедрение системы регулярного экологического мониторинга состояния лиманных агромелиоративных систем	Периодичность обследований не реже 1 раза в 5 лет
11.	Создание баз данных и систем оперативного экологического картографирования лиманных экосистем с использованием ГИС-технологий	Компьютерные интерактивные карты в масштабе 1:10000, 1:25000

№ п/п	Наименование мероприятия	Оценочные, нормативные и технологические показатели
12.	Внедрение методов программирования продуктивности лиманных экосистем на базе моделирования	Создание адаптивных моделей функционирования лиманных агромелиоландшафтов
13.	Разработка и оптимизация схемы комплексного использования водных ресурсов на территории Ергенинской возвышенности с целью восстановления систем лиманного орошения на местном поверхностном стоке	Реконструкция и введение в эксплуатацию не менее 10-15 тыс.га земель лиманного орошения

Важнейшим направлением является оптимизация режимов затопления лиманов, включающая: подачу строго нормированных объемов оросительных вод в кратчайшие сроки с целью создания запасов влаги в почве, способствующих нормальному росту и развитию растений; соблюдение экологически безопасных нормативов продолжительности стояния воды, связанных с биологическими и физиологическими особенностями произрастающих на лиманах фитоценозов; быстрое удаление излишков воды.

Следующий главный критерий – формирование на землях лиманного орошения высокопродуктивного агролесомелиоративного ландшафта за счет внедрения адаптивных технологий, которые состоят из ряда операций: ремонта имеющихся естественных сенокосных угодий путем подсева трав: посева определенного набора сельскохозяйственных культур (кормовых, зерновых и др.); улучшения водно-физических и структурных показателей почв специальными агроприемами; поднятия уровня плодородия почв внесением научно-обоснованных доз органических и минеральных удобрений, строго увязанных с потребностями фитоценозов и уровнем урожайности; применение приемов химической мелиорации осолонцованных почв.

На низкопродуктивных и деградированных сенокосах требуется осуществление операций по поверхностному и коренному улучшению естественных растительных угодий путем подсева и посева высокопродуктивных и высококачественных в кормовом отношении культур – пырея ползучего, бекмании обыкновенной, костреца безостого, овсяницы тростниковой, лисохвоста лугового, канареечника тростниковидного и др.

Немаловажным элементом является регулярная подпитка лиманных сенокосов азотным питанием на уровне 30-20 кг д.в. на 1 га, что позволит поднять урожайность сена до 2,0-8,0 т/га. Для улучшения водно-физических и структурных свойств тяжелых почв эффективно применение периодического щелевания и кротования на глубину 0,4-0,6 м, а на легких почвах – внесение навоза в дозах не менее 10 т/га и глинистых веществ.

Засоленные и осолонцованные лиманные массивы нуждаются в проведении химико-биологических мелиоративных работ: внесении химических мелиорантов (фосфогипса и пр.) в дозах не менее 3-4 т/га и посеве культур-освоителей (пырея солончакового, донника и др.).

Таким образом, соблюдение рассмотренного выше комплекса мероприятий позволит увеличить площадь эксплуатируемых земель лиманного орошения в Калмыкии до 80 тыс.га и повысить их продуктивность до 4-5 т/га сена при сохранении экологически безопасной обстановки в агроэкосистемах.

Список использованных источников:

1. Бородычев, В.В. Эколого-мелиоративная обстановка и меры ее оптимизации на системах лиманного орошения в Калмыкии / В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А.Сазанов// Вестник РАСХН. – М. – 2014 - №3 – С. 19-20.
2. Бородычев, В.В. Экосистемный мониторинг водных ресурсов и мелиоративных объектов //В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов, А.А. Дедов/Российская сельскохозяйственная наука. - 2017.- №3- С.56-61.
3. Временное методическое пособие по мониторингу мелиорированных земель в Российской Федерации. – М.: МСХ РФ, 1993. – 43 с.
4. Дедова, Э.Б. Лиманное орошение Калмыкии: состояние и пути эффективного использования: монография /Э.Б. Дедова, В.В. Бородычев, М.А. Сазанов. - Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2015. - 272 с.
5. Дедова, Э.Б., Методические положения создания комплексного мониторинга водных ресурсов и мелиоративных систем Республики Калмыкия /Э.Б. Дедова, Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, С.Д. Исаева, М.А. Сазанов, Москва. – 2017.- 97 с.
6. Дедова, Э.Б. Почвенно-мелиоративная характеристика и продуктивность лиманных агроландшафтов Калмыкии /Э.Б. Дедова, Г.Н. Кониева. А.А. Дедов/ Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК. Материалы междунар. науч.-практ.конф. – М.: Изд. ВНИИГиМ, 2017. - С. 187-190.
7. Классификация и диагностика почв СССР / Сост. В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова и др. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
8. Методическое руководство по методам контроля и критериям оценки мелиоративного состояния орошаемых земель Поволжья. – Саратов: ВолжНИИГиМ, 1991. – 35 с.
9. Шуравилин, А.В. Экологические аспекты программирования продуктивности лиманных агроландшафтов Калмыкии/ А.В. Шуравилин, В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов//Агро 21 век, 2015. - №10-12.- С. 31-33.
10. Фондовые материалы КФ ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова – Элиста, 1973-2017.

УДК 631.674.2: 626.841 (470.47)

АГРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ ПРИЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИМАННЫХ УГОДИЙ НА ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЛЯХ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ

Дедова Э.Б., Кониева Г.Н., Дедов А.А.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Ключевые слова: ЛИМАННОЕ ОРОШЕНИЕ, ПОЧВЫ, ПРОДУКТИВНОСТЬ, РЕЖИМ ЗАТОПЛЕНИЯ, УДОБРЕНИЯ, ЗАСОЛЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА.

Приверженность территории Калмыкии к Прикаспийской низменности, где и размещаются основные массивы лиманных понижений, обуславливает высокую степень природной засоленности и солонцеватости почв. Помимо естественных причин, часть площадей лиманов республики подверглась антропогенным процессам вторичного засоления и осолонцевания почв в результате многолетнего использования для затопления минерализованных (до 6 г/л) вод дренажно-сбросного стока с рисовых оросительных систем Сарпинской низменности. Поэтому достижение высокой продуктивности лиманных сенокосов на солонцовых и осолонцованных комплексах возможно только при осуществлении специального набора мероприятий по химической мелиорации и комплексному агрохимическому окультуриванию травостоя [10].

Технология возделывания кормовых культур на лиманах, направлена, прежде всего, на создание условий для максимального использования природных факторов: ФАР, тепла, влаги и питания, то есть на создание агрофитоценозов с оптимальной площадью листьев, высотой и густотой растений и стеблей с целью накопления наибольшей биомассы. Средняя продуктивность орошаемых лиманных сенокосов республики колеблется от 2,58 до 3,32 т/га. Проведенный статистический анализ количественных показателей продуктивности лиманных сенокосов свидетельствует об обратно пропорциональной зависимости от содержания воднорастворимых солей в метровом слое почвы лиманов с коэффициентом равным 0,94 и уравнением регрессии: $Y=3,328-0,871 \cdot X$ [5].

На лиманах Калмыкии преобладают гидроморфные каштаново-луговые и лугово-болотные солонцы тяжело- и среднесуглинистые с преобладанием илистой фракции. Характерной особенностью лиманных почв является признак осолоделости их, особенно в верхних горизонтах. На несолонцеватых лугово-лиманных почвах отмечается слабое засоление лишь в конце второго метра. Солонцеватые разновидности почв характеризуются наличием солонцеватого горизонта и залеганием солевого пояса с 50...60 см, уплотненностью, призматической структурой. Зональные технологии их коренного улучшения базируются на традиционных приемах [1- 4, 6].

Химическая мелиорация – гипсование – повышает содержание кальция в верхних слоях почв, снижает отрицательное действие натрия, содержащегося в оросительной воде, на плодородие почв. В качестве химических мелиорантов используют гипс сыромолотый ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) с содержанием кальция на уровне 71...73% и фосфогипс – промышленный отход от производства фосфорных удобрений с содержанием CaO – 35...38%, фосфора – 1,0...3,5% и серы – более 20%. Химические мелиоранты распределяются по поверхности лимана с использованием любых марок современных машин и агрегатов, предназначенных для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений [7-9, 11].

В зависимости от степени засоления и солонцеватости лиманных почв, химические мелиоранты могут вноситься сплошным методом или выборочно по пятнам солонцов и солончаков, которые выделяются сначала на картах по ре-

зультатам почвенно-мелиоративной съемки, а затем места их расположения фиксируются на местности при помощи вешек, флажков или других опознавательных знаков с последующим проведением работ по химической мелиорации почв лиманных сенокосов.

Следует также отметить тот положительный факт, что в связи со слабой растворимостью гипса и фосфогипса, которая не превышает 2 г/л, внесенные в почву мелиоранты оказывают рассолонцовывающий эффект на протяжении нескольких лет, постепенно растворяясь в воде и глубоко проникая под действием высоких норм затопления в почвенные толщи лиманов (до 2,0 м и более).

Технологический процесс коренного улучшения травостоев на сильнодеградированных засоленных и осолонцованных лиманных землях (табл. 1) предусматривает внесение химических мелиорантов, глубокую плантажную вспашку на глубину 0,35...0,4 м и посев злаковых трав в конце лета с одновременным внесением азотных удобрений.

Во второй год жизни посевов должен соблюдаться оптимальный технологический режим (ранневесеннее внесение азотных удобрений, своевременное затопление и сброс воды, уборка сена в оптимальные сроки), что позволит стабильно получать урожаи на уровне не ниже 3,0 т/га.

Для обеспечения повышения продуктивности орошаемых сельскохозяйственных культур на засоленных землях эффективным приемом является промывка – процесс опреснения верхнего (1...2 м) слоя почв за счёт выноса водорастворимых солей в нижние горизонты под действием больших поливных норм. Вода растворяет соли, извлекает диффузионно-осмотическим током солевые растворы из капилляров структурных агрегатов [3].

Солевые растворы, более плотные (тяжелые), уносят соли из корнеобитаемой толщи почвы в глубокие горизонты. Новые порции промывной воды, наслоненные сверху, выталкивают и замещают соленосные капиллярные растворы. Своей массой промывные воды оттесняют и первые порции промытых солей, и минерализованные грунтовые воды в дренажные сооружения. На регулярно эксплуатируемых орошаемых участках уровень засоления почвогрунтов обычно не превышает 2,0 % от массы.

Увеличение оптимальной концентрации водорастворимых солей до 10 г/л и более подавляет ростовые процессы растений, ведет к осолонцеванию и ухудшению водно-физических свойств орошаемых земель. Общие объемы воды, необходимые для рассоления расчетного слоя почвы (1,0 м), обычно равнозначны или несколько превышают величины требуемых оросительных норм для сельскохозяйственных культур.

Таблица 1 – Технологическая карта коренного улучшения сильнодеградированных травостоев на засоленных и осолонцованных лиманных землях Калмыкии с применением средств химической мелиорации и посева трав с целью поднятия их продуктивности до 3,0 т/га сена и выше

№ п/п	Виды работ	Объем работ	Состав агрегата		Персонал		Норма выработки, га/трудодень	Затраты труда, (чел. дн.)	Технологические параметры	Сроки проведения работ
			Марка двигателя	Марка с.-х. машины	Механизатор	Рабочий				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Первый год жизни посевов										
1.	Скашивание лиманного некондиционного травостоя	100 га	Мтз-82	Кпп-4,2	1	-	60,0	1,67	Высота скашивания 10...15 см	Конец мая – начало июня
2.	Дискование стерни	100 га	Мтз-82	Бдм-2,4 х 4пм	1	-	12,0	2,4	В один след	Через 10 дней после скашивания
3.	Погрузка химических мелиорантов	300 т	Мтз-82	Пэ-0,8А	1	-	287,0	1,04		Конец июня
4.	Транспортировка химических мелиорантов	300 т	Мтз-82	Рум-5 или 1-рмг-4	1	-	28,0	10,7		Конец июня
5.	Внесение химических мелиорантов	100 га	Мтз-82	Рум-5 или 1-рмг-4	1	-	18,0	5,6	Доза фосфогипса 3...4 т/га	Конец июня
6.	Плантажная вспашка	100 га	Дт-75м	Ппн-40	1	-	2,4	41,67	Глубина обработки 0,35...0,4 м	Начало июля

7.	Предпосевное боронование	100 га	ДТ-75м	Збзс-1,0	1	-	45,0	2,2	В один след	Середина августа
8.	Предпосевное прикатывание	100 га	МТЗ-82	Зккш-6а	1	-	36,0	2,8	В один след	Середина августа
9.	Погрузка семян	1,0 т	Вручную		-	1	5,8	0,17		Конец августа
10.	Транспортировка семян	1,0 т	МТЗ-82	2-птс-4	1	-	16,0	0,06		Конец августа
11.	Погрузка азотных удобрений	4,4 т	МТЗ-82	ПЭ-0,8А	1	-	287,0	0,02		То же
12.	Транспортировка удобрений	4,4 т	МТЗ-82	2-птс-4	1	-	28,0	0,16		-//-
13.	Посев злаковых трав с одновременным внесением удобрений	100 га	МТЗ-82	СЗТ-3,6А	1	1	18,0	11,2	Норма высева – 3,0...3,5 млн. шт./га, глубина заделки семян 2...3 см. Доза удобрений N ₃₀	-//-
14.	Послепосевное прикатывание	100 га	МТЗ-82	ЗККШ-6А	1	-	36,0	2,8	В один след	-//-
Второй год жизни посевов										
15.	Погрузка азотных удобрений	6,6 т	МТЗ-82	ПЭ-0,8А	1	-	287,0	0,10		Начало марта
16.	Транспортировка удобрений	6,6 т	МТЗ-82	2-ПТС-4	1	-	28,0	0,24		То же
17.	Внесение удобрений по мерзлой почве	100 га	МТЗ-82	РУМ-5 или 1-РМГ-4	1	-	18,0	5,6	Доза N ₄₅	-//-

18.	Дискование в 1 след	100 га	МТЗ-82	БДМ-2,4 х 4ПМ	1	-	42,0	2,4	Глубина обработки 5...7 см	Середина марта
19.	Затопление лимана	100 га	Вручную		-	1	2,5	0,2	Норма затопления 3,0...3,5 тыс. м ³ /га	Конец марта – апрель
20.	Сброс излишней воды	100 га	Вручную		-	1	15,0	0,2	Объем сброса 0,5...0,7 тыс. м ³ /га	Начало мая
21.	Скашивание травостоя	100 га	МТЗ-82	КП-2,4	1	-	28,0	3,6	Высота травостоя 0,6...0,7 м. Высота среза 6...8 см	Конец мая – начало июня
22.	Стребание сухой массы в валки	100 га	МТЗ-82	ГВК-6А	1	-	49,0	2,0	Влажность массы 20...25%	То же
23.	Прессование сена в тюки	100 га	МТЗ-82	ПП-1,6	1	-	14,0	7,1	Влажность массы 17...18%	-/-
23а.	Прессование сена в рулоны	100 га	МТЗ-82	ПРФ-145	1	-	9,0	10,5	То же	-/-
24.	Погрузка тюков и рулонов	300 т	МТЗ-82	ПКУ-0,8	1	-	287,0	1,05	Сразу после прессования	-/-
25.	Транспортировка тюков и рулонов	300 т	МТЗ-82	2-ПТС-4 (2 шт.)	1	-	38,0	7,9		-/-
26.	Укладка тюков и рулонов в штабеля	300 т	МТЗ-82	ПКУ-0,8	1	-	287,0	1,05		-/-

Учеными ВНИИГиМ разработана конструкция системы лиманного орошения на землях, подверженных засолению и осолонцеванию [11]. Система (рис. 1) включает в себя: участковый подводящий оросительный канал 1, земляные насыпные вододерживающие валы 2, шлюзы-регуляторы (водовыпуски) с переездом 3 для подачи воды из оросительного канала в лиман, водовыпуски с переездом на земляных валах 4, участковый сброс-ороситель 5, шлюз-регулятор с переездом 6 на сбросе-оросителе, периферийную однобортную выводную канавку 7, коллекторную канавку 8, щелевой или кротовый дренаж 9, устройство для растворения химических мелиорантов 10.

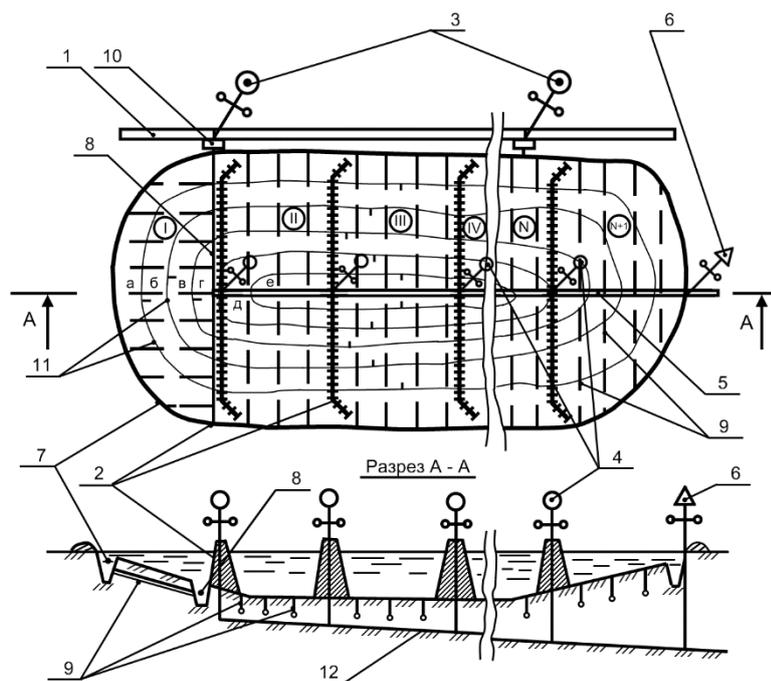


Рисунок 1 - Схема многоярусной системы лиманного орошения на засоленных землях

Работа системы лиманного орошения осуществляется в следующей последовательности. Открываются водовыпуски 3 и вода из подводящего оросительного канала 1 поступает в периферийную выводную канавку 7 и коллекторную канавку 8. Водовыпуски 4 на земляных валах, за исключением первого яруса, должны быть открыты. Шлюз-регулятор 6 в конце сброса-оросителя 5 должен быть закрыт. Вода, равномерно растекаясь по периферийной и коллекторной канавкам, начинает поступать на поверхность лимана, а также в щели и кротодрены одновременно по всей площади лимана. После подачи расчетной нормы затопления водовыпуски 3 закрываются и осуществляется процесс впитывания поданной воды в почву. Продолжительность стояния воды регулируется в зависимости от вида растительности. В замкнутом лиманном понижении формируются пояса с продолжительностью нахождения воды от 2 до 7 суток (а), 7-15 (б), 15-20 (в), 20-30 (г), 30-40 (б) и более 40 суток (е). После прохождения нормативного срока затопления открываются все водовыпуски 4 и шлюз-регулятор 6, происходит быстрый сброс излишков воды и их отвод за пределы системы. Участковый оросительный канал 1 должен обеспечивать стандартную 75%-ную обеспеченность

водными ресурсами на протяжении всего вегетационного периода и поэтому водоисточниками должны служить крупные реки, каналы обводнительно-оросительных систем или водохранилища сезонного и многолетнего регулирования местного паводкового стока.

Земляные водоудерживающие валы 9, разделяющие общую площадь СЛЮ на отдельные ячейки (ярусы) – (I, II, III...N), размещаются перпендикулярно горизонталям 11 замкнутого понижения рельефа и должны иметь высоту от 0,4 до 1,3 м (в зависимости от расчетной средней глубины затопления). Площадь ярусов не должна превышать 50-100 га, в целях достижения оптимальных схем затопления. Шлюзы регуляторы 3, служащие для подачи воды из оросительного канала 1 на территорию СЛЮ, должны обладать пропускной способностью с удельным расходом не ниже 20-50 л/с на 1 га, что обеспечивает соблюдение времени подачи не более 3-10 суток (в зависимости от вида возделываемых на лимане культур).

Участковый сброс-ороситель 5 прокладывается по тальвегу дна лиманного понижения в выемке без образования дамб обвалования, начиная от земляного вала первого (верхнего) яруса. Его дно 12 устраивается с небольшим уклоном, для обеспечения своевременного отвода излишних вод за пределы СЛЮ. Глубина канала должна быть не менее 0,5 м, с заложением откосов на уровне 1:1,0-1,5. Водовыпуски с переездом 4 устанавливаются на сбросе-оросителе 5 в местах пересечения с земляными валами 2 и служат для регулирования слоя затопления на ярусах лимана и своевременного перепуска и сброса воды. Их пропускная способность должна обеспечивать удаление воды в течение 1-3 суток.

Однобортная выводная канавка 7 глубиной не менее 0,5 м нарезается по периметру лиманного понижения при помощи грейдера или плантажного плуга, с выбросом грунта на наружную часть системы. Она соединяется с водоподающими сооружениями 3 и сбросом-оросителем 5. Служит для обеспечения равномерности распределения воды на территории лимана, а также своевременного поступления воды в щели и кротодрены.

Шлюз-регулятор с переездом 6 на сбросе-оросителе устанавливается сразу за пределами системы и имеет функцию управления водным режимом, находясь в закрытом состоянии при затоплении лимана и обеспечивая в открытом режиме быстрое удаление излишков поливной воды при опорожнении лиманных угодий, а также дренажного стока - в межвегетационный период. Коллекторная однобортная канавка 8 нарезается в конце верхнего яруса СЛЮ перед земляным распределительным валом, с отсыпкой земли на вал, и соединяется с периферийной канавкой. Она имеет глубину 0,5-0,7 м и служит для равномерного распределения воды по поверхности лимана и своевременного сброса ее излишков, а также для удаления дренажного стока. Временная дренажная сеть 9 выполняется в виде щелей и кротодрен глубиной 0,3-0,6 м, расстояние между которыми зависит от степени засоления и осолонцевания почв, а также от технологий полива и может колебаться в пределах от 1,0 до 3,0 м.

Рекомендуемые параметры щеле-кротового дренажа на системе лиманного орошения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Рекомендуемые параметры щеле-котового дренажа на системе лиманного орошения в зависимости от степени засоления и осолонцевания почв

Степень засоления и осолонцевания слоя почвы 0-1,0 м	Уровень содержания солей, %	Уровень содержания обменного натрия, % от ЕКО	Глубина щелей и кротодрен, м	Расстояние между щелями и кротодренами, м	Густота дренажа, м/га
Средняя	0,3-0,6	5,0-10,0	0,3-0,4	2,0-3,0	50,0-33,3
Сильная	0,6-0,8	10,0-15,0	0,4-0,5	1,5-2,0	66,7-50,0
Очень сильная	Более 0,8	Более 15,0	0,5-0,6	1,0-1,5	100,0-66,7

В случае осуществления на лимане периодических поливов напуском по щелям и кротодренам, расстояние между ними не должно превышать 2,0 м. Для более эффективной борьбы с засолением и осолонцеванием почвы, на территории системы лиманного орошения предусмотрено применение технологий химической мелиорации, и она оборудуется специальным устройством для приготовления раствора мелиорантов 10, располагающимся непосредственно у водоподающих сооружений 3, чтобы происходило смешивание реагента с поливной водой и дальнейшее его распространение. В случае необходимости внесения больших доз мелиоранта, дополнительно может использоваться традиционный метод поверхностного разбрасывания при помощи специальных агрегатов и орудий или внутрпочвенного внесения – одновременно с нарезкой щелей и кротодрен орудиями, имеющими соответствующие приспособления. Наибольший результат от последствия достигается при комбинированной схеме внесения химических мелиорантов, в качестве которых обычно применяются гипс и фосфогипс. Дозы могут варьировать от 3 до 16 т/га.

Технология прокладки щелей и кротодрен (рис. 2) предусматривает, чтобы их устья обязательно выходили в сброс-ороситель и выводную периферийную канавку. Трактор 1, с навешенным орудием-щелерезом или кротователем 2 любой конструкции, задним ходом подъезжает к сбросу оросителю 3, опускает орудие 2 и начинает прокладку щелей или кротодрен 5 в направлении, перпендикулярном горизонталям местности. Подойдя к верхней оконечности лиманного понижения, агрегат разворачивается и продолжает нарезку следующей щели или кротодрены от периферийной канавки 4.

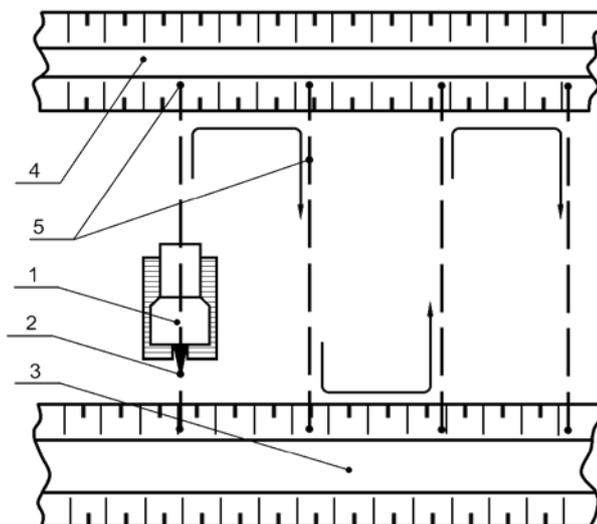


Рисунок 2 - Схема устройства щелевого и кротового дренажа на лиманном понижении

На очень сильно засоленных лиманных землях необходимо устраивать сквозной дренаж, т.е. все щели и кротодрены должны начинаться и кончаться в сбросе-оросителе и канавках (выводной и коллекторной). Щеле-кротовый дренаж на лимане позволяет значительно улучшить водно-физические свойства тяжелых почв (структурность и влагоемкость, водопроницаемость). Также ускоряется процесс затопления и повышается равномерность насыщения влагой верхнего слоя почвы, что снижает на 20-25% оросительные нормы. Интенсификация фильтрационного процесса способствует более активной промывке от солей верхнего горизонта почвогрунта. В период опорожнения лимана от излишней поливной воды при помощи кротодрен и сброса-оросителя с территории удаляется от 25 до 50 % солей. Данный процесс продолжается и во вневегетационный период, когда формируется дренажный сток.

Еще одной особенностью устройства щеле-кротового дренажа является то, что в верхнем ярусе СЛЮ данной конструкции он устраивается перпендикулярно коллекторной канавке 8 и должен выходить в нее и в периферийную канавку 7. Такая схема позволяет обеспечить более равномерное увлажнение в этой зоне системы, как по площади, так и по глубине, а также эффективный промывной режим и рассоление верхнего горизонта почвы.

В таблице 4 представлены сведения о рекомендуемых значениях пропускной способности водоподающих, водорегулирующих и сбросных сооружений и их количестве на предлагаемой системе лиманного орошения, позволяющих ее эксплуатировать в оптимальном режиме (продолжительность подачи воды на затопление не более 10 суток, общая продолжительность пребывания воды на лимане не более 30 суток, сброс излишков поливной воды в течение 1-2 суток и постоянное удаление минерализованного дренажного стока в вневегетационный период).

Таблица 4 – Рекомендуемые параметры водоподающих, водорегулирующих и сбросных сооружений (пропускная способность и количество) на системе лиманного орошения, в зависимости от площади участка

Площадь системы лиманного орошения, га	Водоподающая оросительная сеть		Водорегулирующая оросительная сеть		Сбросная сеть	
	Пропускная способность шлюзов-регуляторов, м ³ /с	Количество сооружений, шт.	Пропускная способность водовыпусков на валах, м ³ /с	Количество сооружений, шт.	Пропускная способность шлюзов-регуляторов, м ³ /с	Количество сооружений, шт.
100	0,4-0,8	1	0,2	0-1	0,2	1
250	0,8-1,2	1-2	0,2-0,4	1-2	0,4	1
500	1,2-2,1	2	0,4-0,8	4	0,8	1
750	1,2-2,1	3	0,8-1,2	7-8	0,8-1,2	1
1000	1,2-2,1	4	0,8-1,2	8-10	1,2-2,1	1

В целом работа дренажа должна обеспечить решение следующих задач: снижение уровня грунтовых вод глубже критического; организация стока промывных вод при начале мелиорации засоленных почв; рассоление корнеобитаемой зоны почв до содержания солей не более 0,2...0,3%, в том числе иона хлора не более 0,01%; рассоление грунтовых вод до концентрации 2...3 г/л, когда независимо от близости уровня грунтовых вод к поверхности процессы засоления орошаемых почв практически прекращаются; последующее постепенное создание опресненного слоя грунтовых вод в толще водоносного горизонта замещением природных соленых грунтовых вод пресными.

Таким образом, предлагаемые агрономелиоративные приемы, на землях лиманного орошения, подверженных засолению и осолонцеванию, позволяют, за счет дополнительного строительства постоянной открытой оросительной и дренажно-сбросной сети, а также нарезки временного щелевого и кротового дренажа внутри системы, осуществлять дифференцированный режим увлажнения (одноразовый и многократный) со своевременным удалением излишков воды, а также интенсивный процесс промывки засоленных и осолонцованных лиманных почв, усиливающийся применением комбинированного метода химической мелиорации, что способствует созданию нормальной экологической обстановки и формированию устойчивого высокопродуктивного агрономелиоландшафта.

Список использованных источников:

1. Бородычев, В.В. Состояние и перспективы развития лиманного орошения в Калмыкии / В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов // Мелиорация и водное хозяйство – М. – 2013 - №1 – С. 2-5.

2. Бородычев, В.В. Эколого-мелиоративная обстановка и меры ее оптимизации на системах лиманного орошения в Калмыкии / В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А.Сазанов// Вестник РАСХН. – М. – 2014 - №3 – С. 19-20.

3. Бородычев, В.В. Моделирование процесса управления водно-солевым режимом почв в условиях орошения // В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А.Сазанов, М.Н. Лытов/ журнал Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, Волгоград. – 2016. - №2. – С.26-34.

4. Дедова, Э.Б. Адаптивный комплекс мероприятий по предупреждению засоления орошаемых агроландшафтов полупустынной и пустынной зон Калмыкии / Э.Б. Дедова, В.Ф. Шматкин, М.А. Сазанов // Мелиорация и окружающая среда: Юбилейный сборник науч. тр. – М.: ВНИИГиМ, 2004. – С. 11-15.

5. Дедова, Э.Б. Лиманное орошение Калмыкии: состояние и пути эффективного использования: монография // Э.Б. Дедова, В.В. Бородычев, М.А. Сазанов/ Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. – 2015. – 272 с.

6. Дедова, Э.Б. Моделирование агроландшафтов систем лиманного орошения Республики Калмыкия / Э.Б. Дедова, В.В. Бородычев. М.А. Сазанов/ журнал Российская сельскохозяйственная наука. - М.- 2016.- №6. – С. 55-59.

7. Мамин, В.Ф. Управление водным режимом и комплексное окультуривание мелиорированных природных лиманов полупустынного Прикаспия: автореф. дисс. доктора с.-х. наук. – Волгоград, 1986. – 41 с.

8. Туктаров, Б.И. Лиманное орошение в Заволжье/ Б.И. Туктаров - Саратов: Изд. Саратов.ГАУ им.Н.И.Вавилова, 1998. – 316 с.

9. Шумаков, Б.А. Лиманное орошение/ Б.А. Шумаков, Б.Б. Шумаков - М.: Сельхозгиз, 1963. – 132 с.

10. Шуравилин, А.В. Экологические аспекты программирования продуктивности лиманных агроландшафтов Калмыкии/ А.В. Шуравилин, В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов//Агро 21 век, 2015. - №10-12.- С. 31-33.

11. Патент РФ на изобретение № 258864262. Система лиманного орошения / М.А. Сазанов, Э.Б. Дедова, В.В. Бородычев, Б.О. Аравгиева. – Бюл. №5 от 20.02.2016.

УДК 628.6:631.6 (470.47)

АДАПТИВНЫЕ МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОСИСТЕМНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В АПК РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ

Дедова Э.Б.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Адаптивные методы реализации экосистемного водопользования в АПК Республики Калмыкия включают развитие оросительных мелиораций и рациональное использование воды для полива сельскохозяйственных культур; развитие систем сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищных угодий; развитие рыбного хозяйства на основе рационального использования воды внутренних водоёмов на территории республики; рациональное использование водных ресурсов для целей рекреации.

Ключевые слова: ЭКОСИСТЕМНОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ВОДА, МИНЕРАЛИЗАЦИЯ, ЗАСОЛЕНИЕ, УРОЖАЙНОСТЬ.

Одним из крупных водопотребителей является агропромышленный комплекс (АПК): крупнейший, социально значимый сектор экономики России. Экологически безопасное, экономически эффективное и социально ориентированное развитие АПК в значительной мере зависит от состояния мелиоративно-водохозяйственного комплекса, который представлен совокупностью инженерных систем и сооружений, функционирование которых обеспечивает решение экологических, технических, экономических и социальных проблем водопользования.

Эти проблемы применительно к Республике Калмыкия условно можно разделить на следующие виды:

- организационно-правовые, включающие несовершенство систем управления, мониторинга и контроля водохозяйственной деятельности, отсутствие единой информационной основы водопользования, неполноту и противоречивость законодательной и правовой основы водопользования;

- экологические, включающие загрязнение, истощение, деградацию водных экосистем и подземных вод, неравномерность распределения водных ресурсов, несовершенство экологического нормирования водопользования по количественным и качественным показателям;

- экономические, включающие несовершенство экономических механизмов для обеспечения экологически безопасного функционирования систем водопользования;

- технические, включающие износ и старение основных производственных фондов, несовершенство систем водопользования, непроизводительные расходы и потери воды; несовершенство технологий водосбережения, водоподготовки, очистки и регулирования качества воды в подсистемах водопотребления и водоотведения; отсутствие системы учета и контроля количества и качества потребляемой и отводимой воды;

- социальные, включающие рост заболеваемости, снижение жизненного уровня сельского населения, снижение качества сельскохозяйственной продукции.

Поэтому формирование экологически безопасного и экономически эффективного функционирования систем водопользования в АПК Республики Калмыкия должно осуществляться в соответствии с общепринятыми экологическими, санитарно-эпидемиологическими, ветеринарно-санитарными, агрономическими, техническими и социально-экономическими критериями [3, 7, 9, 12, 14, 20, 24].

Экологические критерии предназначены для создания экологически безопасных систем водопользования с учетом обеспечения охраны окружающей среды на территории непосредственного воздействия АПК и окружающей территории.

Санитарно-эпидемиологические критерии предназначены для формирования экологически безопасных и экономически эффективных систем водопользования с учетом необходимости обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Ветеринарно-санитарные критерии предназначены для создания экологически безопасных систем водопользования с учетом необходимости обеспечения благоприятных условий для жизнедеятельности сельскохозяйственных животных и птицы, повышения продуктивности и качества животноводческой продукции.

Агрономические критерии предназначены для формирования экологически безопасных и экономически эффективных систем водопользования по степени и характеру водохозяйственных воздействий на:

- урожайность сельскохозяйственных культур по валовому сбору и интенсивности развития;
- качество сельскохозяйственной продукции, в особенности на формирование ее полноценности, доброкачественности и сохранности;
- почвы – с целью сохранения, повышения плодородия и биопродуктивности, предотвращения процессов засоления и нарушения биологического режима.

Технические критерии учитывают воздействие водохозяйственной деятельности на сохранность, эффективность, надежность функционирования систем водопользования, сооружений и их составных частей.

Социально-экономические критерии предназначены для формирования экологически безопасных систем водопользования с учетом конкретных социально-экономических условий.

Для повышения экономической эффективности и экологической безопасности мелиорации, внедрения рациональной системы водопользования в основных земледельческих зонах Калмыкии необходимо выполнение комплекса мероприятий, обеспечивающих наиболее экономное и эффективное потребление воды, поступающей из внешних и местных источников.

В связи с этим, основными принципами экологически безопасного функционирования систем водопользования на территории Республики Калмыкия являются:

- *принцип экосистемности*, отражающий оптимизацию управления водно-землепользованием, направленное на восстановление и сохранение функциональной и структурной целостности водосборных бассейнов, ландшафтов, наземных и водных экосистем;
- *принцип экологичности*, означающий, что водохозяйственная деятельность должна отвечать экологическим требованиям и ограничениям;
- *принцип приоритетности охраны водных объектов перед их использованием*, т.е. эксплуатация водных объектов не должна оказывать негативного воздействия на окружающую среду;

- принцип приоритетности использования водных объектов для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения перед иными целями их использования;

- принцип сбалансированности, предусматривающий соблюдение баланса использования и воспроизводства всех имеющихся видов водных ресурсов - поверхностных, подземных, морских и др. и охраны вод от загрязнения и истощения;

- принцип оптимальности технических и технологических решений, который отражает необходимость перехода на новые экологически безопасные и экономически эффективные водохозяйственные системы, технологии и конструкции, обеспечивающие водосбережение, защиту наземных и водных экосистем от загрязнения и деградации, а населения и объектов экономики - от вредного воздействия вод.

Водохозяйственная деятельность в процессе функционирования обводнительно-оросительных систем и хозяйственных систем на местном стоке строится на принципах экосистемного водопользования. Сформирован целостный подход к экологически обоснованному использованию водных, земельных и биологических ресурсов в пределах зоны действия ООС с учетом ландшафтных особенностей (вплоть до локального уровня) и строгой ориентацией на предупреждение загрязнения водных и других экосистем [1-4, 7, 16, 18-24].

Система водопользования на орошаемых землях базируется на применении для орошения воды только хорошего качества (на черноземах и темно-каштановых почвах минерализация не должна превышать 1 г/л) и ее экономии. При определении экологически допустимой величины водной нагрузки на орошаемый агроландшафт основополагающим является создание гидротермического режима, обеспечивающего наиболее благоприятные условия почвообразования и продуктивности агрофитоценозов. Интегральным показателем при этом служит так называемый гидротермический коэффициент - «радиационный индекс сухости» (табл. 1). Экологически благоприятные параметры гидротермического режима, которые необходимо поддерживать в условиях республики, для обеспечения равновесного баланса энергии и веществ составляют: $\bar{R}=0,8-1,2$ [19, 22].

Важнейшим фактором повышения производительности орошаемых агроландшафтов и их экологической устойчивости является рациональная структура посевных площадей, базирующаяся на адаптивно-ландшафтном принципе планирования. Научно-обоснованные рациональные варианты структуры посевов по зонам республики представлены в таблице 2.

Обеспечение урожайности сельскохозяйственных культур на орошаемых землях и формирование оптимальной структуры севооборотов достигается на основе адаптивно-ландшафтного подхода, позволяющего осуществить отыскание для каждой культуры экологической ниши и подобрать близкие по агроэкологической требовательности культуры для определенной категории земель, обладающие устойчивостью к неблагоприятным факторам среды, вредителям и болезням, высокой продуктивностью и экологической эффективностью.

Таблица 1 - Параметры гидротермического режима в условиях природно-сельскохозяйственных зон Калмыкии

Параметры	Уровень	Природно-сельскохозяйственные зоны			
		степная	сухостепная	полупустынная	пустынная
Радиационный баланс (R), кДж/см ² ·год	природный	183	183-185	183-190	190-193,5
	фактический (при орошении)	194	194-195	194-201,5	201,5-205
«Радиационный индекс сухости» (\bar{R})	природный	1,7	2,0-2,5	2,6-3,2	3,1-3,7
	фактический	0,8-1,2	0,9-1,3	0,8-1,3	1,1-1,4
	благоприятный	0,8-1,2	1,0-1,2	1,0-1,2	1,0-1,2
	критический	<0,8; >1,7	<0,8; >1,8	<0,8; >1,9	<0,8; >1,9
Показатель энергии почвообразования (Qn), кДж/см ² ·год	природный	63	30-40	18-30	14-30
	фактический	90-100	85-100	70-88	50-63
	благоприятный	83-110	73-120	93-125	63-105
	критический	63	50	56	54
Оросительная норма (M), мм/год	фактический	300-600	350-510	400-630	400-610
	благоприятный	150-400	335-500	365-670	430-735
	критический	<415 0	>600 <95	>640 <105	>700 <160

Таблица 2 - Примерная структура посевных площадей основных сельскохозяйственных культур от доли орошаемой пашни в общей площади пашни

Природно-климатические зоны	Доля орошаемых земель, %	Структура посевов основных культур, %		
		зерновые	кормовые	овощебахчевые
Степная и сухостепная	< 15	10-20	70-80	3-5
	15-30	20-40	35-55	5-10
	> 30	45-50	25-40	10-20
Полупустынная и пустынная	30-50	5-10	60-70	20-30
	50-70	10-20	50-60	30-40
	70-90	20-30	40-50	40-45

Системы водоснабжения предприятий АПК, животноводческих комплексов, птицефабрик, обводнения сенокосов и пастбищ, а также водоотведения с них должны строиться на санитарно-эпидемиологических и ветеринарно-санитарных принципах, которые предусматривают строжайшее обеспечение охраны здоровья населения и создание благоприятных условий для жизнедеятельности человека и животных (основывающихся на соблюдении условий и норм законодательных и нормативно-методических документов по экологической безопасности) путем использования для этих целей воды высокого качества на основе применения современных технологий ее очистки. Необходимо оборудование достаточного количества водопойных пунктов.

Система водопользования для рыборазведения должна развиваться за счет более эффективного использования многочисленных водоемов (прудов, водохранилищ, озер) с обеспечением комплекса мероприятий по улучшению качественного состава воды в них и соответствии с существующими стандартами.

Развитие оросительных мелиораций и рациональное использование воды для полива сельскохозяйственных культур. В силу природно-климатических условий Республика Калмыкия относится к аридным территориям, где оросительные мелиорации являются не только важнейшим фактором стабильного развития сельскохозяйственного производства, но и улучшения условий проживания местного населения. Как известно, орошение в этой зоне обеспечивает повышение урожайности зерновых культур в 3-4 раза, кормовых – в среднем в 5-7 раз по сравнению с богарными землями [11,17].

Развитие оросительных мелиораций существенно изменило социально-бытовые условия жизни тружеников села: увеличилась степень обеспеченности населения и животных питьевой водой [5, 7, 13, 15, 17, 18].

Общая площадь мелиорированных земель составляет 80,9 тыс. га, в том числе 44,7 тыс. га регулярного орошения и 36,2 тыс. га лиманного орошения. Кроме того, из межхозяйственной оросительной сети обводняется 1167,2 тыс. га пастбищных угодий.

Оценка мелиоративного состояния орошаемых земель осуществляется на основе принципов, изложенных в таблице 3 и с учетом зональной шкалы (табл. 4).

Выделяются четыре категории:

а) хорошая мелиоративная обстановка на орошаемых массивах - грунтовые воды залегают стабильно ниже оптимальной глубины, почвы незасоленные и не-солонцеватые, нет грунтовых вод, засоления, осолонцевания почв и ухудшения их водно-физических свойств. Плодородие почв на высоком уровне. Гарантировано получение проектного урожая сельскохозяйственных культур;

б) удовлетворительное мелиоративное состояние земель – глубина залегания УГВ от допустимой до оптимальной или ниже оптимальной, почвы слабозасоленные и слабосолонцеватые, солонцы занимают 10-25% комплексного почвенного покрова, земли подтоплены. Угрозы развития негативных процессов нет. Агрохимические свойства почв характеризуются средними показателями. Возможная урожайность – не более 70-90% от проектного уровня;

в) неудовлетворительное мелиоративное состояние земель – глубина залегания УГВ периодически или постоянно выше допустимой, при изменении засоления или осолонцевания почв от среднего до сильного, солонцы занимают 25-50% площади комплекса. Агрохимические показатели почв на низком уровне. Возможно получение 5-70% проектного урожая с последующим снижением до нуля;

Таблица 3 – Общие принципы оценки эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель

Гидро-геолого-мелиоративное	Оценочные показатели						направленность мероприятий по улучшению мелиоративного состояния земель
	Глубина залегания грунтовых вод (Н), м	Степень засоления и осолонцевания почв	Степень переувлажнения почв	Уровень плодородия почв	Гидрофизические свойства почвы	Водообеспеченность	
Неудовлетворительное	$H \leq H_{кр.}$ (при минерализации более 1 г/л)	Любые значения					<p>Радикальные мероприятия Строительство коллекторно-дренажной сети, рациональное регулирование поверхностного стока</p> <p>Профилактические мероприятия Улучшение качества оросительной воды и корректировка режимов орошения, применение физических, химических и биологических способов борьбы с засолением и осолонцеванием почв (глубокое рыхление, внесение хим. мелиорантов, возделывание растений – галофитов и т.д.)</p>
	$H \leq H_{кр}$	Выше критических значений	Ниже критических значений				
	$H \geq H_{кр}$	Выше критических значений	Ниже критических значений				
Удовлетворительное	$H_{кр} \leq H \leq 3-5$	Менее или близкие к критическим				Комплекс мер по регулированию поверхностного стока, сокращение приходных статей баланса грунтовых вод: отвод излишков воды, плановое водопользование, корректировка режимов орошения при намечающихся процессах засоления и осолонцевания – улучшение качества оросительных вод и применение предупреждающих мер (гипсование и др.)	
	$H \leq 3-5$	Близкие к критическим					
	$H > 3$	Близкие к критическим					
Хорошее	$H > 3$	Ниже критических значений	Выше критических значений			Эксплуатация систем ведется в соответствии с проектными показателями. Мелиоративные и агротехнические мероприятия должны быть направлены на сохранение существующего состояния земель	

Таблица 4 – Зональная шкала оценки мелиоративного состояния орошаемых земель Республики Калмыкия [14]

130

Категория земель по мелиоративному состоянию	Оценочные показатели												
	глубина залегания грунтовых вод (м) при минерализации, г/л				Глубина залегания солевого горизонта, м	Содержание солей в слое 0-100 см/%	Доля натрия в почвен. погл. комплексе, %	Коэффициент дисперсности	Содержание гумуса	Содержание питательных элементов, мг/кг почвы (по Мачигину)			Водопроницаемость почвы, м ³ /га/ч
	менее 1	1...3	3...5	5...10 и более						N	P	K	
Неудовлетворительное	<1,5	<1,8	<2,2	<2,8	<0,5	>0,60	>10	15	<1	<5	<10	<100	<200
Удовлетворительное	1,5-1,8	1,8-2,2	2,2-2,8	2,8-3,5	0,5-1,0	0,28-0,60	5-10	5-15	1-3	5-10	10-15	100-300	300-500
Хорошее	>1,8	>2,2	>2,8	>3,5	>1,0	0,16-0,28	<5	5	>3	>10	>15	>300	500-1500

г) хорошее и удовлетворительное мелиоративное состояние орошаемых земель с угрозой ухудшения – отмечается при глубине залегания УГВ более оптимальной или допустимой, но при наличии неуклонного подъема уровня минерализованных грунтовых вод и реального (через 2-3 года) засоления (осолонцевания) незасоленных или слабозасоленных (слабосолонцеватых) почв.

По данным ФГБУ «Управление Калмелиоводхоз» показатели мелиоративного состояния площадей регулярного орошения (по УГВ и засолению) следующие: хорошее и удовлетворительное – 13,6 тыс. га, неудовлетворительное по причине засоления почв – 24 тыс. га, неудовлетворительное (недопустимая глубина уровня грунтовых вод и засоления почв) – 5,5 тыс.га, неудовлетворительное (недопустимая глубина уровня грунтовых вод) – 0,1 тыс.га (рис. 1).

Мелиоративное состояние орошаемых сельскохозяйственных угодий Республики Калмыкия характеризуется следующим образом: хорошее и удовлетворительное – 32,03 тыс. га (39,6%), неудовлетворительное по причине засоления почв – 31,02 тыс. га (38,4%), неудовлетворительное (недопустимая глубина уровня грунтовых вод и засоления почв) – 17,85 тыс.га (22,0%).

Основным критерием мелиоративного состояния орошаемых земель является режим грунтовых вод, который характеризуется уровнем их залегания (УГВ) и степенью минерализации. При хорошем мелиоративном состоянии уровень залегания грунтовых вод на орошаемых участках залегает ниже критической глубины.

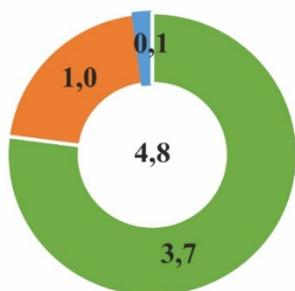
Степень засоления активного (корнеобитаемого) слоя почвы оценивается по недобору урожая растений (15-20% и более). Степень солонцеватости определяется долей солонцов и сильносолонцеватых в комплексах зональных почв на орошаемых массивах. Несмотря на сравнительно короткую историю орошаемого земледелия в республике, на всех без исключения оросительно-обводнительных системах Калмыкии отмечены явления вторичного засоления орошаемых земель.

Среди главных причин этого негативного явления, следует назвать, высокий запас солей в зоне аэрации; бессточность большей части территории; низкий уровень эксплуатации оросительно-обводнительных систем, ошибки проектирования, в частности строительство большинства систем без дренажной сети; отсутствие или недостаточное проведение мелиоративных мероприятий (мелиорация солонцов, промывной режим орошения, химические и биологические мелиорации) как в начале освоения, так и в период эксплуатации орошаемых массивов и ряд других.

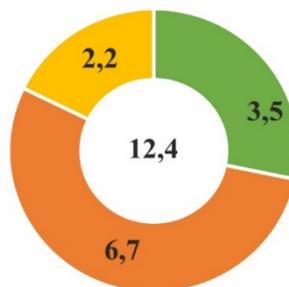
Одной из главных причин вторичного засоления орошаемых земель практически на всех ООС республики является подъем до критического и выше уровня высокоминерализованных грунтовых вод. Грунтовые воды с минерализацией и уровнем выше критических значений, как правило, повсеместно вызывают явление вторичного засоления орошаемых земель или реставрацию исходного. Поэтому, в настоящее время, в республике площадь в различной степени засоленных земель составляет выше 80% от общей площади поливных массивов, изменяясь от 60-65% (на Право-Егорлыкской системе с черноземными почвами),

на Черноземельской и Каспийской системах до 90...95 %, расположенных в зоне бурых полупустынных почв. Большая часть орошаемых земель республики подверглась вторичному засолению в процессе эксплуатации оросительно-обводнительных систем, т.к. под орошение отбирали наименее благополучные по засолению земельные массивы.

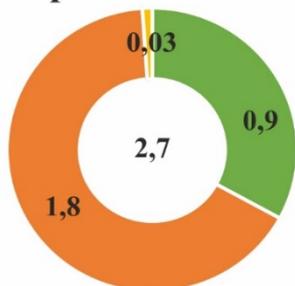
Право-Егорлыкская ООС



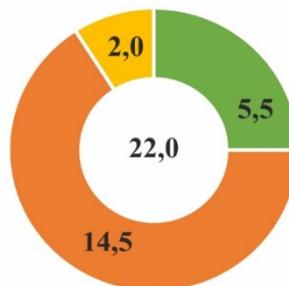
Сарпинская ООС



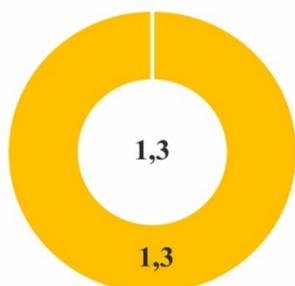
Калмыцко-Астраханская рисовая ОС



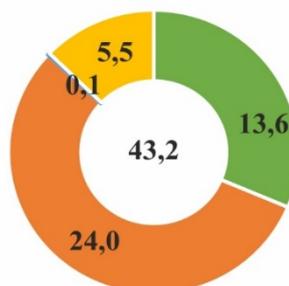
Черноземельская ООС



Каспийская ООС



Всего по республике



- Хорошее и удовлетворительное
- Неудовлетворительное по причине засоления почв
- Недопустимого уровня грунтовых вод
- Недопустимого уровня грунтовых вод и засоления почв

Рисунок 1 – Показатели мелиоративного состояния земель регулярного орошения Республики Калмыкия, тыс. га, 2016 год (по данным ФГБУ «Управление Калммелиоводхоз»)»

Под оптимальной подразумевается такая глубина УГВ, при которой не происходит засоления и осолонцевания корнеобитаемого слоя почвы. Критическое (допустимое) значение глубины УГВ – то, при котором наблюдается процесс слабого засоления и осолонцевания почвы, снижающее естественное плодородие почв от 5 до 30%. Глубина грунтовых вод выше критических значений – уровень, при котором происходит засоление и осолонцевание средней и сильной степени и снижение плодородия от 30 до 100%.

Учитывая современное мелиоративное состояние орошаемых земель и экологическую обстановку, доля орошаемых черноземов в составе пашни не должна превышать 3%, на темно-каштановых – 5%, а на каштановых и светло-каштановых почвах – 10-15%. При этом площадь отдельных орошаемых участков должна быть не более 500 га, что даст возможность исключить резкое нарушение режима грунтовых вод, а поднявшийся их купол под орошаемым массивом, будет сбрасываться в межполивной период за счет «сухого» дренажа. При использовании минерализованных вод следует применять приемы улучшения качества воды (химическую мелиорацию, очистку) и агробиологические приемы (промывной режим орошения на фоне щелчевания и дренажа и др.).

В настоящее время наблюдается относительная стабилизация соотношения незасоленных и в различной степени засоленных земель. Сравнительно небольшие колебания происходят в доле земель различной степени засоления. Эти колебания объясняются в основном тремя причинами: почвенно-климатическими условиями, водообеспеченностью систем и уровнем их эксплуатации, т.к. от этих причин зависит УГВ и степень их влияния на солевой режим почвенного профиля.

Ввиду отсутствия надлежащего промывного режима и эффективного дренажа, на всех оросительных системах появляются сильно и даже очень сильно засоленные земли. Одной из существенных причин этой тенденции является также высокая комплексность почвенного покрова большинства оросительно-обводнительных систем.

Основным приемом регулирования режима грунтовых вод на орошаемых землях является эффективное использование дренажа, параметры которого должны соответствовать почвенно-мелиоративным и гидрогеологическим условиям. На основании обобщения имеющихся материалов учеными Калмыцкого филиала ВНИИГиМ [13, 17, 21] проведено районирование территории Калмыкии по естественной дренированности и сделан расчет потребности в искусственном дренаже. В настоящее время обеспеченность дренажем в целом по республике составляет всего около 25 % при потребности в 70-80 % (табл. 5).

Для предупреждения дальнейшего ухудшения режима грунтовых вод и предотвращения процессов вторичного засоления и осолонцевания необходимо: довести искусственную дренированность орошаемых земель до параметров, соответствующих почвенно-мелиоративным и гидрогеологическим условиям каждого участка (в среднем до 60-65%); провести коренную реконструкцию суще-

ствующим дренажной и оросительной сети для обеспечения поддержания горизонта грунтовых вод на безопасной глубине 3,0-3,5 м (предпочтительны систематический закрытый горизонтальный дренаж глубиной 4,0-4,5 м и с междренним расстоянием 50-100 м, а также биологический дренаж); осуществить внедрение водосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур; создать законченную систему лесомелиоративных насаждений на орошаемых участках.

Таблица 5 – Обеспеченность дренажем и его потребность на мелиорируемых землях Республики Калмыкия

Показатели, % от площади орошаемых земель	Право-Егорлыкская ООС	Сарпинская ООС	Калмыцко-Астраханская ООС	Черноземельская ООС	Каспийская ООС	По республике
Естественная дренированность	весьма слабая	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	--
Потребность в дренаже	50-55	70-80	70-80	70-80	90-100	70-80
Обеспеченность дренажем	18,3	26,0	7,1	32,3	0	24,8
в том числе открытый	0	22,0	0	19,2	0	8,7
закрытый	18,3	4,0	7,1	13,1	0	16,1
Дополнительная потребность в дренаже	32-37	45-55	65-70	35-45	90-100	45-55

Учеными КФ ВНИИГиМ проводятся полевые исследования на территории орошаемых полей СПК «Первомайский» вдоль приканальной зоны коллектора УС-5, по оценке влияния режима орошения дождеванием в сочетании с применением различных доз минеральных удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур [5, 7, 10, 11, 22, 25].

Почвенный покров опытного участка отличается комплексностью. На выровненных участках сформировались типичные для пустынной зоны бурые полупустынные с наличием больших массивов солонцовых комплексов и солончаков почвы лёгкого гранулометрического состава. Плотность сложения почвы в метровом слое с глубиной увеличивается от 1,28 до 1,49 т/м³. Мощность гумусовых горизонтов – небольшая 0,16-0,22 м. По содержанию гумуса (1,07-1,33 %) почвы относятся к слабогумусированным. По содержанию азота и фосфора почва относится к средней степени обеспеченности, а по содержанию обменного калия – к высокой. Реакция почвенного раствора слабощелочная (7,3-8,0) щёлоч-

ность водной вытяжки возрастает в горизонте максимального скопления карбонатов. Ёмкость поглощения бурых полупустынных почв низкая и составляет – 6,0-11,4 мг-экв на 100 г почвы (табл. 6).

Орошаемые участки на канале УС-5 постоянно эксплуатируются с конца 70-х гг. прошлого века. Только в СПК “Первомайский” их площадь превышает 1 тыс. га. Однако за этот период не произошло засоления земель. Как показали исследования на современный момент содержание воднорастворимых солей в слое почве 0-0,4 м варьирует от 0,120 до 0,186%. Степень засоления нижележащих слоев слабая и средняя (0,209-0,537%), с хлоридно-сульфатным химизмом (табл. 7).

Таблица 6 – Агрохимические показатели почвы в зоне действия канала УС-5

Глубина взятия образца	Содержание гумуса, %	Ёмкость катионного обмена, мг-экв на 100 г. почвы	Содержание питательных элементов		
			Нитратный азот(NO ₃), мг/кг почвы	Аммиачный азот (NH ₄), мг/кг почвы	Фосфор (P ₂ O ₅), мг/кг почвы
Скважина 1					
0...10	1,20	6,0	12,8	70	48,25
10...20	1,07	8,2	10,0	56	26,75
20...30	1,20	10,0	9,3	56	15,75
30...40	0,95	9,5	10,5	42	9,50
Скважина 2					
0...10	1,03	7,2	13,0	82	58,00
10...20	1,00	11,4	8,2	56	27,00
20...30	1,03	12,0	7,8	42	12,50
30...40	0,87	10,0	9,1	28	8,75
Скважина 3					
0...10	1,24	8,6	14,8	76	56,25
10...20	1,33	10,0	9,1	56	28,25
20...30	1,05	12,0	7,4	56	12,00
30...40	0,97	10,0	6,3	28	7,50

Исследования [11] по оценке влияния минеральных удобрений на формирование продукционного процесса и урожайности зеленой массы поливидовых агроценозов амаранта метельчатого и сорго сахарного при орошении, показали возможность получения 80-118 т/га зеленой массы.

При увеличении предполивного порога увлажнения с 60-65% НВ до 70-75% НВ формируется наибольшая урожайность однолетних кормовых культур за три укоса в трехкомпонентных травосмесях “сорго сахарное+соя+рапс” – 118,0 т/га, что на 45,8 т/га больше в сравнении с чистыми посевами сорго сахарного и на 14,5-25,7 т/га больше в сравнении с двухкомпонентными травосмесями. Полевые исследования по оценке влияния режима орошения в сочетании с применением различного уровня минерального питания на продуктивность суданской травы, показали, что уровень зеленой массы составляет 25-30 т/га и выше (табл. 8).

Таблица 7 - Химический состав почвы орошаемого участка СПК "Первомайский" Черноземельского района после 35-летнего орошения

Глубина	HCO_3^- МГ- ЭКВ %	Cl^- МГ- ЭКВ %	SO_4^{--} МГ- ЭКВ %	Сумма анио- нов МГ-ЭКВ %	Ca^{++} МГ- ЭКВ %	Mg^{++} МГ- ЭКВ %	Na^+ МГ- ЭКВ %	Сумма катио- нов МГ-ЭКВ %	Сумма солей %	Плот- ный остаток %	Тип и степень засоления
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Скважина 1 (приканальная зона – 50 м от УС-5)											
0-10	$\frac{0,35}{0,021}$	следы	$\frac{1,25}{0,060}$	$\frac{160}{0,081}$	-	$\frac{0,75}{0,009}$	$\frac{0,85}{0,019}$	$\frac{1,60}{0,028}$	0,109	0,120	-
10-20	$\frac{0,50}{0,030}$	Следы	$\frac{1,25}{0,060}$	$\frac{1,75}{0,090}$	$\frac{0,25}{0,005}$	$\frac{1,00}{0,012}$	$\frac{0,50}{0,011}$	$\frac{1,75}{0,028}$	0,118	0,123	-
20-30	$\frac{0,70}{0,043}$	Следы	$\frac{1,25}{0,060}$	$\frac{1,95}{0,103}$	$\frac{0,25}{0,005}$	$\frac{1,00}{0,012}$	$\frac{0,70}{0,016}$	$\frac{1,95}{0,033}$	0,136	0,144	-
30-40	$\frac{0,70}{0,043}$	$\frac{0,60}{0,021}$	$\frac{2,25}{0,108}$	$\frac{3,55}{0,172}$	$\frac{0,50}{0,010}$	$\frac{1,00}{0,012}$	$\frac{2,05}{0,047}$	$\frac{3,55}{0,069}$	0,241	0,264	Хлоридно-сульфат- ный слабая
40-50	$\frac{0,65}{0,040}$	$\frac{1,40}{0,050}$	$\frac{4,37}{0,210}$	$\frac{6,42}{0,300}$	$\frac{1,75}{0,035}$	$\frac{2,00}{0,024}$	$\frac{2,67}{0,061}$	$\frac{6,42}{0,12}$	0,420	0,461	Хлоридно-сульфат- ный средняя
50-60	$\frac{0,65}{0,040}$	$\frac{1,80}{0,064}$	$\frac{3,75}{0,180}$	$\frac{6,20}{0,284}$	$\frac{1,50}{0,030}$	$\frac{2,00}{0,024}$	$\frac{2,70}{0,062}$	$\frac{6,20}{0,116}$	0,400	0,427	Хлоридно-сульфат- ный средняя
60-70	$\frac{0,65}{0,040}$	$\frac{1,60}{0,057}$	$\frac{2,75}{0,132}$	$\frac{5,00}{0,229}$	$\frac{1,00}{0,020}$	$\frac{1,75}{0,021}$	$\frac{2,25}{0,052}$	$\frac{5,00}{0,093}$	0,322	0,348	Хлоридно-сульфат- ный слабая
70-80	$\frac{0,70}{0,043}$	$\frac{1,90}{0,067}$	$\frac{4,00}{0,192}$	$\frac{6,60}{0,302}$	$\frac{1,50}{0,030}$	$\frac{3,50}{0,042}$	$\frac{1,60}{0,037}$	$\frac{6,60}{0,109}$	0,411	0,441	Хлоридно-сульфат- ный средняя
80-90	$\frac{0,70}{0,043}$	$\frac{2,50}{0,089}$	$\frac{5,25}{0,252}$	$\frac{8,45}{0,384}$	$\frac{2,00}{0,040}$	$\frac{3,25}{0,039}$	$\frac{3,20}{0,074}$	$\frac{8,45}{0,153}$	0,537	0,591	Хлоридно-сульфат- ный средняя

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
90-100	<u>0,65</u> 0,040	<u>2,70</u> 0,096	<u>5,25</u> 0,252	<u>8,60</u> 0,388	<u>2,00</u> 0,040	<u>5,00</u> 0,060	<u>1,60</u> 0,037	<u>8,60</u> 0,137	0,525	0,573	Хлоридно-сульфат- ный средняя
0-40	<u>0,56</u> 0,034	<u>0,15</u> 0,005	<u>1,50</u> 0,072	<u>2,21</u> 0,111	<u>0,25</u> 0,005	<u>0,94</u> 0,011	<u>1,02</u> 0,012	<u>2,21</u> 0,028	0,151	0,163	-
40-100	<u>0,67</u> 0,041	<u>1,98</u> 0,070	<u>4,23</u> 0,203	<u>6,88</u> 0,314	<u>1,62</u> 0,032	<u>2,92</u> 0,035	<u>2,34</u> 0,028	<u>6,88</u> 0,095	0,436	0,473	Хлоридно-сульфат- ный средняя
0-100	<u>0,62</u> 0,038	<u>1,25</u> 0,044	<u>3,14</u> 0,151	<u>5,01</u> 0,233	<u>1,07</u> 0,021	<u>2,13</u> 0,026	<u>1,81</u> 0,022	<u>5,01</u> 0,069	0,322	0,349	Хлоридно-сульфат- ный слабая
Скважина 2 (200 м от канала УС-5)											
0-10	<u>0,30</u> 0,018	Следы	<u>1,50</u> 0,072	<u>1,80</u> 0,090	-	<u>0,75</u> 0,009	<u>1,05</u> 0,024	<u>1,80</u> 0,033	0,123	0,134	-
10-20	<u>0,25</u> 0,015	Следы	<u>1,37</u> 0,066	<u>1,62</u> 0,081	<u>0,12</u> 0,002	<u>0,62</u> 0,007	<u>0,88</u> 0,020	<u>1,62</u> 0,029	0,111	0,126	-
20-30	<u>0,60</u> 0,037	следы	<u>2,00</u> 0,096	<u>2,60</u> 0,133	<u>0,12</u> 0,002	<u>0,62</u> 0,007	<u>1,86</u> 0,043	<u>2,60</u> 0,052	0,186	0,198	-
30-40	<u>0,70</u> 0,043	<u>0,05</u> 0,002	<u>0,75</u> 0,036	<u>1,50</u> 0,081	<u>0,25</u> 0,005	<u>0,75</u> 0,009	<u>0,50</u> 0,011	<u>1,50</u> 0,025	0,106	0,116	-
40-50	<u>0,75</u> 0,046	<u>0,10</u> 0,003	<u>0,87</u> 0,042	<u>1,72</u> 0,091	<u>0,50</u> 0,010	<u>0,25</u> 0,003	<u>0,97</u> 0,022	<u>1,72</u> 0,035	0,126	0,134	-
50-60	<u>0,75</u> 0,046	<u>0,20</u> 0,007	<u>0,87</u> 0,042	<u>1,82</u> 0,095	<u>0,50</u> 0,010	<u>0,25</u> 0,003	<u>1,07</u> 0,025	<u>1,82</u> 0,038	0,133	0,143	-
60-70	<u>0,80</u> 0,049	<u>0,50</u> 0,018	<u>1,75</u> 0,084	<u>3,05</u> 0,151	<u>0,25</u> 0,005	<u>1,00</u> 0,012	<u>1,80</u> 0,041	<u>3,05</u> 0,058	0,209	0,228	-
70-80	<u>0,75</u> 0,046	<u>0,40</u> 0,014	<u>1,37</u> 0,066	<u>2,52</u> 0,124	<u>0,50</u> 0,010	<u>0,75</u> 0,009	<u>1,27</u> 0,029	<u>2,52</u> 0,048	0,174	0,184	-

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
80-90	<u>0,75</u> 0,046	<u>0,50</u> 0,018	<u>1,25</u> 0,060	<u>2,50</u> 0,124	<u>0,50</u> 0,010	<u>0,75</u> 0,009	<u>1,25</u> 0,029	<u>2,50</u> 0,048	0,172	0,193	-
90-100	<u>0,70</u> 0,043	<u>0,50</u> 0,018	<u>1,25</u> 0,060	<u>2,45</u> 0,121	<u>0,50</u> 0,010	<u>0,75</u> 0,009	<u>1,20</u> 0,028	<u>2,45</u> 0,047	0,168	0,182	-
0-40	<u>0,46</u> 0,028	<u>0,01</u> 0,0003	<u>1,40</u> 0,067	<u>1,87</u> 0,0953	<u>0,12</u> 0,002	<u>0,68</u> 0,008	<u>1,07</u> 0,025	<u>1,87</u> 0,035	0,131	0,143	-
40-100	<u>0,75</u> 0,046	<u>0,37</u> 0,013	<u>1,23</u> 0,059	<u>2,35</u> 0,118	<u>0,46</u> 0,009	<u>0,63</u> 0,008	<u>1,26</u> 0,029	<u>2,35</u> 0,046	0,164	0,177	-
0-100	<u>0,63</u> 0,038	<u>0,22</u> 0,008	<u>1,30</u> 0,062	<u>2,15</u> 0,108	<u>0,32</u> 0,006	<u>0,65</u> 0,008	<u>1,18</u> 0,027	<u>2,15</u> 0,041	0,151	0,164	-

Таблица 8 – Урожайность зеленой массы различных сортов суданской травы, т/га

Норма высева	Сорт	Урожайность зеленой массы			Всего за вегетацию
		I укоса	II укоса	III укоса	
3,0	Много-отрастающая	11,79	8,87	2,20	22,86
3,5		13,43	10,15	2,61	26,19
4,0		15,52	11,39	2,79	29,70
4,5		16,54	12,09	2,95	31,58
5,0		14,57	10,70	2,66	27,93
5,5		13,21	10,05	2,41	25,67
3,0	Быстрянка	11,37	8,51	2,10	21,98
3,5		12,6	9,34	2,33	24,27
4,0		14,29	10,43	2,58	27,30
4,5		15,22	11,03	2,72	28,97
5,0		15,02	11,65	2,86	29,53
5,5		14,43	10,53	2,54	27,50
3,0	Камышинская-51	11,79	8,68	2,16	22,63
3,5		13,11	9,68	2,38	25,17
4,0		14,85	10,76	2,61	28,22
4,5		16,74	12,07	2,90	31,71
5,0		14,83	10,69	2,57	28,09
5,5		13,35	9,64	2,26	25,25

Таким образом, вода канала УС-5 полностью пригодна для орошения и позволяет получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Ее также можно использовать для водопоя скота, технологических нужд, рыбопродукции и рекреации. Вода используется и для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения. Например, в п. Адык (центральная усадьба СПК “Первомайский”) на канале поставлена очистная установка и чистая вода по трубопроводам подается к населенному пункту и всем ближайшим животноводческим стоянкам.

В условиях дефицита водных ресурсов многоцелевые гидромелиоративные системы оазисного типа позволяют рационально использовать все имеющиеся их виды для орошения [5-6, 13, 17, 19, 22-23]. Функционирование многоцелевых гидромелиоративных систем оазисного типа обеспечивает комплексное регулирование мелиоративных режимов почв (водно-солевого, гидротермического, пищевого и др.) и создают условия для формирования высокопродуктивных агроэкосистем, полностью вписывающихся в природные циклы и кругообороты энергии и веществ с соблюдением экологической безопасности.

Одним из наиболее перспективных способов орошения, в аридных условиях Республики Калмыкия, является капельный полив. Данный способ полива способствует локальному и постоянному увлажнению корнеобитаемого слоя, за счёт возможности строгого нормирования и регулирования подачи воды (в зависимости от конкретных потребностей растений в различные фазы их развития). Поэтому достигается значительная экономия оросительной воды на 40-50 % - по

сравнению с дождеванием и на 50-60 % - по сравнению с поверхностными способами полива. Как показывает научно-практический опыт [6-8, 17], на системах капельного орошения обеспечивается оптимальный водно-пищевой режим в корнеобитаемом слое почвы, строго нормированный в соответствии с конкретными потребностями сельскохозяйственных растений на данный период их развития.

Полевые исследования проводились в полупустынной зоне Калмыкии в зоне действия Сарпинской обводнительно-оросительной системы. Почвенный покров опытного участка представлен бурыми среднесуглинистыми полупустынными почвами, которые характеризуются следующими показателями: плотность сложения пахотного слоя 1,24-1,28 т/м³, вниз по профилю она увеличивается и в среднем в метровом слое равна 1,61 т/м³; содержание гумуса в слое 0-0,4 м 1,32-1,42%; содержание аммонийного азота в пахотном слое низкое (63,1-84,3 мг/кг), подвижного фосфора среднее (57,2-63,5 мг/кг), обменного калия высокое (475-510 мг/кг). Урожайность плодов арбуза варьировала по годам исследований от 28,5 до 62,5 т/га.

Возделывание люцерны в условиях полупустынной зоны Республики Калмыкия при орошении минерализованными водами показывает, что в условиях значительного дефицита водных ресурсов орошение сельскохозяйственных культур и, в первую очередь, люцерны возможно проводить водой с минерализацией до 4-6 г/л и хлоридно-натриевым, сульфатно-хлоридно-натриевым химизмом засоления. Однако, необходимо соблюдать определенные требования, учитывающие метеорологические условия, почвенные и гидрологические особенности региона.

Режим орошения люцерны зависит от напряжённости метеорологических условий. Для поддержания предполивной влажности почвы на уровне 75-80% НВ во влажные годы достаточно провести 11 поливов оросительной нормой 6400 м³/га, а в сухие годы – 17 поливов нормой 10000 м³/га [11, 15, 17].

Исследованиями выявлено, что полив люцерны минерализованной водой (4-6 г/л) не оказывал существенного влияния на тип и степень засоления почвы. Поддержание высокой предполивной влажности почвы способствует вымыванию части солей за пределы метрового почвенного слоя. За более чем десятилетний срок эксперимента в метровом почвенном слое содержание хлора снизилось на 4,4%, натрия - на 8,7% и увеличилось количество кальция на 14,9% и сульфатов - на 48,0%. Анализ общественной эффективности проекта орошения минерализованной водой из озера

Опыты, проведённые в полупустынной зоне, где орошение кормовых культур осуществлялось из озера Сарпа, имеющего минерализацию воды 4,1-5,7 г/л, также подтвердили возможность получения высоких урожаев сена люцерны до 150 т/га и суданской травы 120 т/га, только при условии применения специальных технологий, включающих мероприятия по снижению токсического действия солей на растения и предотвращающих ухудшение плодородия почвы.

В Калмыцком филиале ВНИИГиМ [7, 12, 14, 17] разработаны технологии экосистемного водопользования оборотного типа на рисовых оросительных системах Сарпинской низменности, обеспечивающие повторное использование дренажно-сбросных вод РОС для полива риса и других сельскохозяйственных культур, а также проведение влагозарядковых поливов. Внедрение технологий экосистемного водопользования оборотного типа осуществляется на территории Республики Калмыкия в зоне действия Сарпинской обводнительно-оросительной системы, что обеспечивает ежегодную экономию 5-10 млн.м³ пресной оросительной воды (7-12,5 % от общих объёмов водопотребления) и сокращение денежных затрат на 3,4-8,5 млн. руб./год.

Список использованных источников:

1. Бакташева, Н.М. Экосистема гипергалинных водоемов Калмыкии: научное издание //Н.М. Бакташева, Э.Б. Дедова, В.И. Иванова, Г.Н. Кониева - Элиста: ФГБОУ ВПО Калм-госуниверситет, 2015. – 145 с.
2. Бамбеева, В.И. Рациональное использование лечебного грязевого месторождения озера Большое Яшалтинское /В.И. Бамбеева// Мелиорация и водное хзяйство XXI века. Наука и образование: Мат. междунар. науч.-практ. конф. – Горки: Белорусская ГСХА, 2009. – С. 235-238.
3. Безднина, С.Я. Экологические основы водопользования/С.Я. Безднина - М.: ВНИИА, 2005. – 224 с.
4. Богзыков, С.А. Обводнение пастбищ – основное средство повышения продуктивности пастбищного животноводства Калмыкии/С.А. Богзыков //Обводнение и орошение пастбищ в степной зоне: Тр. ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1978. – С. 31-40.
5. Бородычев, В.В. Водные ресурсы Республики Калмыкия и мероприятия по совершенствованию водохозяйственного комплекса/В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов //Доклады РАСХН. – 2015. - № 4 – С. 41-45.
6. Бородычев, В.В. Влияние агротехнических приемов на продуктивность арбузов при капельном орошении/В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, А.А. Дедов//Мелиорация и водное хозяйство. - 2015.- №2.- С. 11-13.
7. Бородычев, В.В. Экосистемный мониторинг водных ресурсов и мелиоративных объектов //В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов, А.А. Дедов/Российская сельскохозяйственная наука. - 2017.- №3- С.56-61.
8. Бородычев, В.В. Продукционный процесс и урожайность арбузов при капельном орошении в условиях Калмыкии/В.В. Бородычев, А.А. Дедов /Сборник международной научно-практической конференции «Использование мелиорированных земель – современное состояние и перспективы развития мелиоративного земледелия» - Тверь. - 2015.- С. 26-30.
9. Водная стратегия агропромышленного комплекса России на период до 2020 года / Б.М. Кизяев, С.Я. Безднина - М.: Изд. ВНИИА, 2009 – 72 с.
10. Дедова, Э.Б. Возделывание риса при орошении дождеванием в условиях полупустынной зоны Калмыкия / Э.Б. Дедова, Р.М. Шабанов // Плодородие. – 2011 - № 6 – С. 32-33.
11. Дедова, Э.Б. Кормовые культуры на мелиорированных землях Республики Калмыкия /Э.Б. Дедова, А.В. Даваев: Монография /Под общ. ред. чл.-корр. РАН В.В. Бородычева. – Волгоград: ВГАУ, 2015. – 196 с.
12. Дедова, Э.Б. Проблемы водного хозяйства Республики Калмыкия в связи с развитием мелиорации /Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов// Современное состояние и перспективы развития водохозяйственного комплекса Западно-Каспийского бассейнового округа: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Махачкала: АЛЕФ (Овчинникова М.А.), 2013. – С. 25-29.

13. Дедова, Э.Б. Характеристика водных ресурсов Республики Калмыкия и пути их рационального использования для нужд агропромышленного комплекса //Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов, С.И. Ковриго//Мат. между. науч. конф «Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий». Вып. 6 /под общ. ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014 - С.256-260.
14. Дедова, Э.Б., Методические положения создания комплексного мониторинга водных ресурсов и мелиоративных систем Республики Калмыкия /Э.Б. Дедова, Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, С.Д. Исаева, М.А. Сазанов, Москва. – 2017.- 97 с.
15. Демкин, О.В. Использование местных водных ресурсов для оазисного орошения в Калмыкии/О.В. Демкин, Л.В. Руднева, М.А. Сазанов, С.Я. Цуркан// Охрана почв Калмыкии и прилегающих территорий, вып. 2. – Элиста, - 2003. - С. 160-162.
16. Зимовец, Б.А. Проблемы почвенно-мелиоративной оценки качества поливной воды /Б.А. Зимовец, Н.Б.Хитров//Повышение качества оросительной воды: сб.науч.тр. ВАСХНИЛ. – М.: Агропромиздат, 1990. – С.100-107.
17. Комплексное использование водных ресурсов Республики Калмыкия /С.Б. Адьяев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов/под общей редакцией к.с.-х.наук О.В. Демкина. - Монография - Элиста: ЗАОр «НПП «Джангар», 2006. - 200 с.
18. Овчинников, А.С. Мониторинг водных ресурсов Республики Калмыкия и проблемы экосистемного водопользования в агропромышленном комплексе//А.С. Овчинников, В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов //Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – Волгоград. - 2015. – С. 9-19.
19. Парфенова, Н.И. Экологическое обоснование мелиорируемых земель/Н.И. Парфенова, С.Д. Исаева, В.Н. Зинковский, Л.В. Руднева и др./М.: 2001. – 342 с.
20. Парфенова, Н.И. Экологические принципы регулирования гидрогеохимического режима орошаемых земель/Н.И. Парфенова, Н.М. Решеткина/Под. ред. Б.Б.Шумакова. – СПб.: Гидрометеомиздат, 1995. – 359 с.
21. Руднева, Л.В. Качественные показатели оросительных вод Калмыкии/Л.В. Руднева, О.В. Демкин, М.А. Сазанов, В.Ф. Шматкин, Э.Б. Дедова//Охрана почв Калмыкии и прилегающих территорий, вып. 2. – Элиста. - 2003. - с. 163-165.
22. Сазанов, М.А. Экологические аспекты регулирования гидротермического режима почв в условиях Калмыкии//Сазанов М.А./Актуальные вопросы сельскохозяйственного производства Республики Калмыкия. Науч. труды КалмНИИСХ. Вып. 10(16) – Элиста, 1997, с. 147-152.
23. Схема территориального планирования Республики Калмыкия. Раздел III. Материалы по обоснованию схемы территориального планирования. Том 1. Общие положения. ООО НПО «Южный градостроительный центр», Ростов-на-Дону, 2008.
24. Стратегия устойчивого развития водохозяйственного комплекса АПК до 2020 г./Безднина С.Я., С.Д. Исаева, Сазанов М.А. и др.- М.: ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2009.
25. Шабанов, Р.М. Продуктивность риса при орошении дождеванием в условиях Калмыкии/Р.М. Шабанов, Э.Б. Дедова//Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства в России: Мат. междунар. науч.-практ. конф. (Костяковские чтения). – М.: Изд. ВНИИА, 2013. – С. 105-109.

ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМАМИ УВЛАЖНЕНИЯ НА ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Евграфов А. В., Максименко В. П., Хомутов Ю. А.

ФБГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В данной статье приведены результаты исследований по применению оперативного мониторинга за метеорологическими параметрами на мелиорируемых полях для управления режимами орошения сельскохозяйственных культур в реальном времени.

Ключевые слова: ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ, РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ, МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ИСПАРЯЕМОСТЬ, РАСТЕНИЯ, ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Управление режимами орошения может осуществляться по следующим критериям:

- по влажности почвы, устанавливаемой периодическими отборами проб или замерами с использованием приборного оборудования;
- назначение поливов по фазам развития растений, проектируется заранее и приурочивается ко времени их наступления;
- назначение поливов по морфологическим показателям визуально, по окраске или частичному увяданию растений;
- назначение поливов по физиологическим показателям, концентрации сухих веществ в отжатом соке листа;
- назначение поливов по биоклиматическим показателям, расчет осуществляется по данным метеостанций на год с заданной обеспеченностью дефицита водопотребления сельскохозяйственных культур.

Перечисленные способы назначения поливов в большинстве случаев являются запоздалыми, так как отражают угнетенное состояние растений, а в ряде случаев сопряжены с необходимостью использования дорогостоящего оборудования и высококвалифицированного персонала. Осуществление контроля за влажностью почвы на больших площадях сопровождается частыми отборами проб почвы и, как следствие, существенными материальными и техническими затратами. А главное невысокой точностью получаемых результатов из-за пестроты почвенного и растительного покрова.

Наиболее точным и перспективным на сегодняшний день является расчет режимов орошения сельскохозяйственных культур по данным оперативного мониторинга за погодными условиями в режиме реального времени и периодическим контролем за фактической влажностью почвы. Параметры метеоусловий, характеризующие гидротермический режим непосредственно на контролируемом мелиорируемом массиве, устанавливаются с использованием стандартного

оборудования на метеопостах, функционирующих непосредственно на подконтрольном участке. Применение такой технологии позволяет существенно увеличивать точность определения сроков и норм полива сельскохозяйственных культур. Оперативный мониторинг с использованием технологий дистанционного сканирования поверхности сельскохозяйственных полей позволяет оперативно уточнять равномерность увлажнения или осушения по состоянию растений, а зондирование поверхности сельскохозяйственных полей из космоса - оценивать состояние посевов на больших площадях.

При разбросе дефицитов испаряемости, которые тесно связаны с параметрами метеорологических условий, последние определяют не только численные значения потребности воды для покрытия дефицита испаряемости, но и необходимость отвода воды из избыточно увлажненной почвы с целью поддержания благоприятных условий водного питания для растений. Как было показано, такая ситуация может возникать в любом месяце вегетационного периода, и решить поставленную задачу можно только при наличии данных оперативного контроля за природными и технологическими процессами.

Оперативный мониторинг на осушительно-увлажнительных системах можно разделить на два временных периода по сезонам года: зимний и летний.

Оперативный мониторинг зимой, а точнее в холодный период, когда фотосинтез сельскохозяйственных культур практически полностью затухает (прекращается), необходим для установления количественных характеристик формирования элементов водного баланса, термического режима почвы и приземного слоя воздуха, по которым корректируются сроки схода снежного покрова, начало полевых работ на системе, объемы дренажно-сбросных вод, их качество, сроки исполнения агротехнологий и исходные запасы влаги на момент начала вегетации сельскохозяйственных культур, их посадки или посева.

С началом полевых работ на осушительно-увлажнительной системе оперативный мониторинг ориентируется на управление процессами обеспечения комфортных условий произрастания сельскохозяйственных культур или в целом на производство растениеводческой продукции с минимизацией расхода антропогенных энергетических затрат на единицу продукции и повышение эффективности использования водных ресурсов. При этом возникает потребность в расширении спектра оперативно контролируемых параметров, обусловленных антропогенной деятельностью. В частности, необходимостью дополнительного увлажнения при формирующемся дефиците водопотребления сельскохозяйственных культур, когда его реализация сопровождается изменением не только влажности почвы и ее температурного режима, но и состоянием приземного слоя воздуха, оказывая влияние на микроклимат на мелиорированном массиве.

Оперативный мониторинг должен быть строго ориентирован на контроль тех параметров, которые использовались при обосновании элементов системы, параметров природных условий и технологических процессов. Исходной информацией, используемой при обосновании параметров системы, являются расходные характеристики водопроводящих элементов системы. В первую оче-

редь, это элементы системы, выполняющие функцию отбора и отведения объемов воды избыточного естественного увлажнения: осушители, дрены, коллектора (закрытые, открытые), водоприемники, насосные станции, и во вторую - элементы подачи и распределения воды при увлажнении почвы: водозаборные устройства, трубопроводы или каналы, распределительная сеть или установки. Первые рассчитываются на пропуск объемов воды с заданной обеспеченностью, вторые - на подачу воды на участок также с заданной обеспеченностью. Исходными данными, как в первом, так и во втором случае, наиболее востребованными являются: температура и влажность воздуха, осадки, скорость и направление ветра.

Включение этих показателей в оперативный мониторинг обусловлено применением методик обоснования параметров водопроводящей сети и технологических процессов регулирования влажности почвы на поле. Данные по температурному режиму почвы и приземного слоя воздуха используются как одна из основных характеристик энергетического состояния атмосферы для расчета суммарного водопотребления культурных ценозов при составлении баланса почвенных влагозапасов. Данные оперативного мониторинга используются также для оценки потребностей агроценозов при проведении освежительных поливов. Технология оперативного мониторинга температуры и влажности воздуха и других метеорологических параметров базируется на прямых измерениях, которые должны быть согласованными со стандартными наблюдениями на ближайшей метеостанции, если по ее данным проектировался объект или технологический процесс. К другим метеорологическим параметрам относятся скорость ветра и его направление, атмосферные осадки и элементы радиационного баланса. Специфичность их оперативного контроля состоит в том, что они замеряются, как и при регулярных замерах, но только непосредственно на поле, на котором необходимо уточнить режим орошения и принять решение о его корректировке в соответствии с имеющимся ресурсом или для выхода на плановые показатели производства продукции.

В качестве технических средств для осуществления оперативного мониторинга должны быть мобильные устройства, использование которых обеспечивало бы получение информации, соответствующей по качеству получаемой на стационарных метеостанциях. Это вызвано тем, что обоснование параметров как осушительно-увлажнительной системы, так и технологических процессов, осуществляется по многолетним рядам информации, получаемой при постоянных наблюдениях.

В качестве технических средств оперативного мониторинга сегодня используются метеопосты (рис. 1). Составными частями, которого являются метеостойка, наблюдательные скважины, оборудованные автоматическим устройством регистрации уровня воды и передачи данных на пункт приема, обработки и передачи управляющих сигналов на запорно-регулирующую арматуру водопроводящих элементов системы или на поливное устройство.

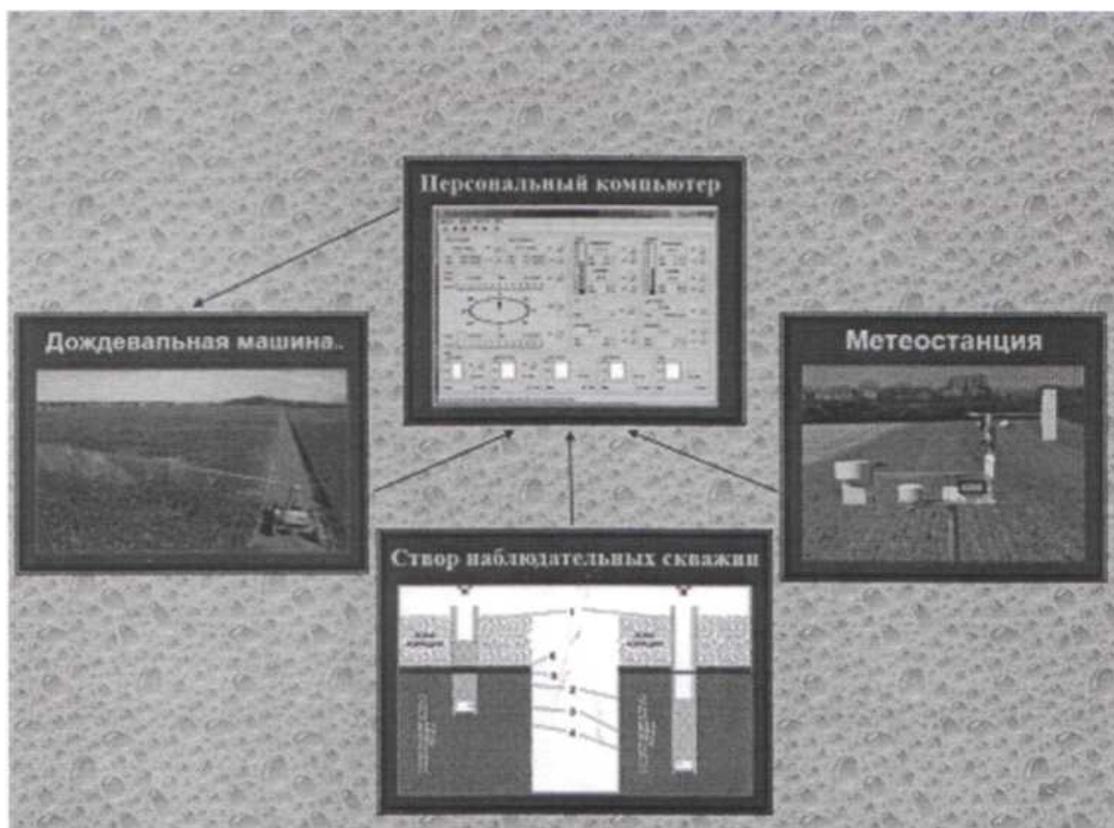


Рисунок 1 - Ориентировочная схема метеопоста на сельскохозяйственном поле осушительно-увлажнительной системы

Дальнейшее совершенствование гидромелиоративных осушительно-увлажнительных систем будет происходить на основе новых технических решений и информационных технологий, включающих зондирование поверхности Земли космическими аппаратами и сканирование поверхности полей беспилотными летательными аппаратами, обеспечивая в режиме реального времени оперативное управление влажностью почвы, ориентированной на получение проектных урожаев, эффективное использование энергетических, материальных и водных ресурсов и снижение негативной антропогенной нагрузки на водоприемники (рис. 2) [1].

Принципиальная схема оперативного мониторинга определяется официально разработанными и утвержденными методиками осуществления контроля за параметрами природных и технологических процессов. Основные отличия состоят в регистрации данных, их обработке и передаче информации на исполнительные регулирующие устройства (рис. 3).

Оперативный мониторинг, как элемент управляющей системы, позволяет отслеживать динамику (с заданными интервалами) гидротермического режима на мелиорированном поле, обеспечивая возможность управлять водными потоками в пределах гидромелиоративной системы, корректировку поливного режима в складывающихся метеорологических условиях в режиме реального времени. Изменение параметров технологических процессов в сторону их приближения к проектным способствует снижению материально-технических затрат на

производство единицы продукции, уменьшению ее себестоимости и соответствующее повышение рентабельности производства не только растениеводческой продукции, но и смежников, таких как животноводство (за счет снижения стоимости кормов), предприятий перерабатывающей промышленности и других потребителей растениеводческой продукции. Экологический эффект достигается за счет повышения эффективности использования водных ресурсов и снижения негативного воздействия на окружающую среду, в частности, снижения загрязнения подземных вод и вод водоприемников.

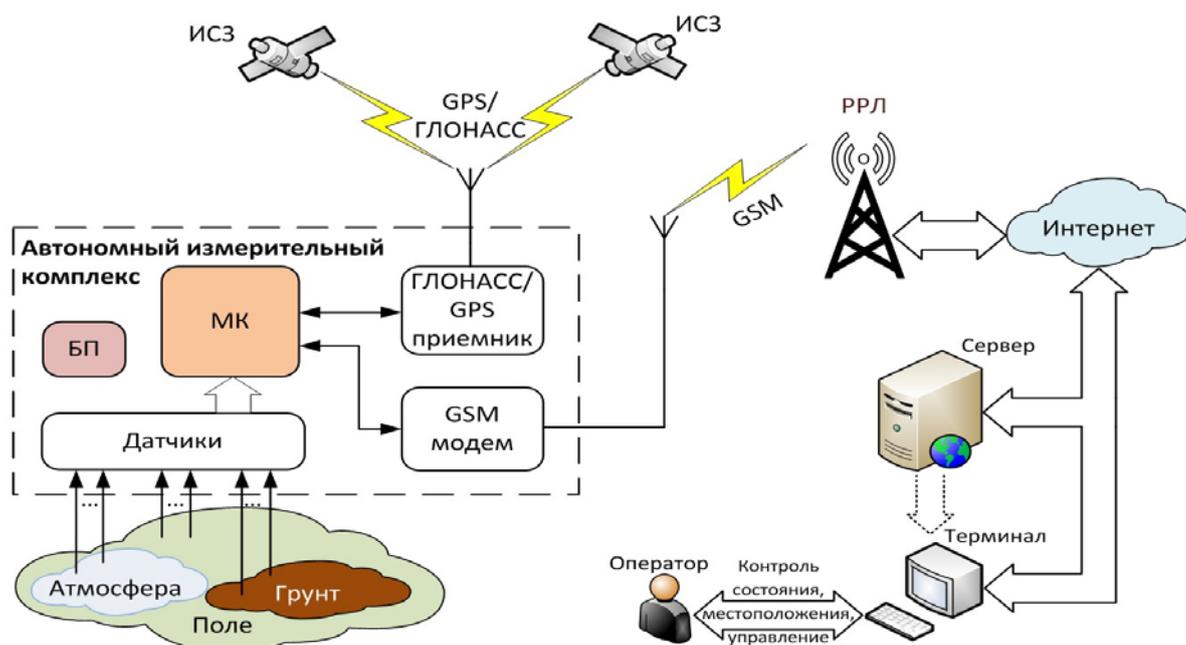


Рисунок 2 – Схема системы оперативного мониторинга при зондировании поверхности земли космическими аппаратами [1]



Рисунок 3 - Принципиальная схема оперативного мониторинга на мелиорируемом поле

Список использованных источников

1. Головинов, Е. Э. Анализ элементов базы для реализации мобильного измерительного агрометеокомплекса [текст] / Е. Э. Головинов, Д. А. Аминев, Ш. М. Бакиров // Проектирование и технология электронных средств. – 2017. - № 3. – С. 22 – 26.

ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ СРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ**Евсенкин К.Н., Нефедов А.В., Иванникова Н.А.**

МФ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Рязань, Россия

Торфяники относятся к категории исчерпаемых и не возобновляемых почвенно-геологических образований [1,2]; проектируемые на них мелиоративные мероприятия должны быть увязаны с основными задачами сельского хозяйства, выполняться в полном соотношении с характером их органогенного происхождения и спецификации необратимых процессов, происходящих в торфе в результате осушения [5].

Регулирование водного режима длительно используемых торфяных почв имеет исключительно важное значение в деле наиболее эффективного их использования. Из существующих способов увлажнения здесь наиболее приемлемыми являются дождевание и подпочвенное увлажнение (шлюзование) [12,13]. При этом шлюзование как способ увлажнения не может быть использован при следующих условиях: не выравненности поля орошения (уклоны не должны превышать 0,002; близкого стояния грунтовых вод и близкого залегания водоупора).

Шлюзование. Технологическая схема шлюзования заключается в следующем: мелиоративный объект осушительно-увлажнительной системы разбивается на поля севооборотов (поля регулирования водного режима). Каждое поле должно быть оборудовано одной наблюдательной скважиной, для контроля за УГВ. Контроль за УГВ на каждом поле регулирования должен осуществляться не реже одного раза в неделю в течении всего вегетационного периода.

В весенний период перед началом активного снеготаяния проводится обследование мелиоративной сети и гидротехнических сооружений, с целью выявления повреждений, неисправностей и их устранения. Во время весеннего паводка на мелиоративной сети затворы шлюзов-регуляторов должны быть открыты до установления УГВ до необходимых отметок под определенную культуру севооборота, с последующим их закрытием. Коррекцию уровня воды в каналах и определение влажности почвы производят один раз в неделю.

Контроль за параметрами водного режима и проведение работ по закрытию-открытию затворов шлюзов-регуляторов; замеры УГВ и влажности почвы должен производить специальный наблюдатель.

Дождевание. В условиях нечерноземной зоны РФ из-за неравномерности выпадения осадков в течение вегетационного периода влажность почвы часто меняется от избыточной до недостаточной. В этой связи сработанные торфяные почвы (агроземы) требуют дополнительного увлажнения в критические моменты. В силу особенностей водно-физических свойств сработанных торфяных почв, расположенных на небольшой мощности торфяного слоя 10–50 см и высокой степени их разложения (45–75%), при пониженной влагоемкости и снижения высоты капиллярного поднятия расчеты количества воды, необходимые для

увлажнения, должны учитывать эти факторы, определяющие сроки и нормы [3, 4].

Наиболее распространенным способом увлажнения в нечерноземной зоне является дождевание, позволяющее проводить поливы небольшими нормами и в необходимые сроки засушливых периодов.

Опытно-производственный участок оборудован наблюдательными скважинами, которые позволяют отслеживать уровень грунтовых вод. Для создания благоприятного водного режима в засушливые периоды участок был оборудован комплектом ирригационным с переносными дождевальными крыльями (КИ-5) конструкции ВНПО «Радуга». Технические характеристики КИ-5: расход воды – 5,0 – 7,0 л/с; напор – до 52 м; средняя интенсивность дождя с учетом перекрытия – 9,2 – 12,8 мм/час; количество одновременно работающих дождевальных аппаратов – 6 шт., продолжительность полива с одной позиции при поливной норме 300 м³/га – 3,1 – 2,4 часа; площадь одновременного полива – 0,195 га. Поливы назначали при снижении влажности до 76-80 % наименьшей влагоемкости (НВ).

Схема опытного участка приведена на рисунке 1.

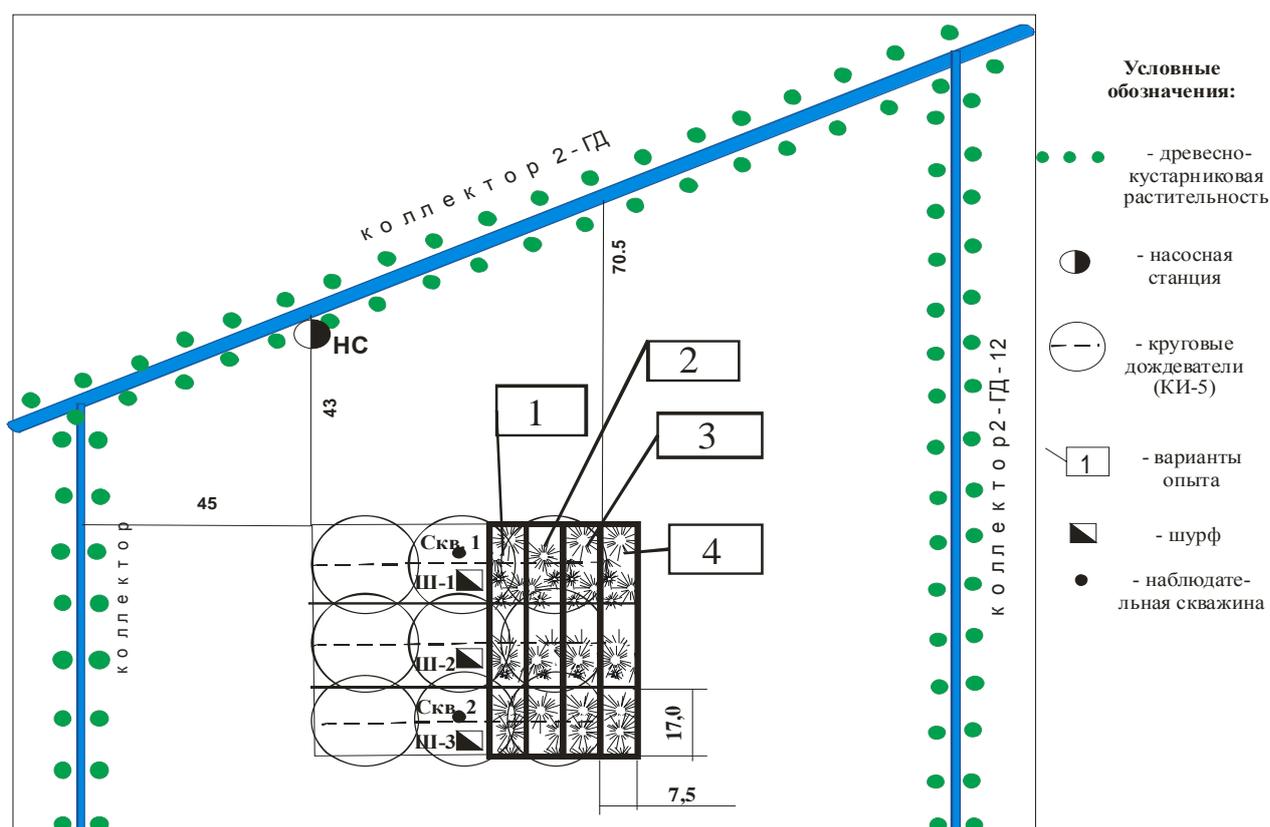


Рисунок 1 – Схема опытного участка на мелиоративной системе Тинки-II

При этом расчет поливной нормы следует проводить на водовместимость органического слоя почвы (10–50 см), обеспечивающей влажность корнеобитаемого слоя в пределах 0,7–0,85 ПВ.

Общая потребность воды на увлажнение или оросительная норма определяется по уравнению водного баланса:

$$W_k = W_n + \Sigma O + \Sigma m - E \pm Q, \quad (1)$$

где W_k , W_n – полезные запасы почвенной влаги на конец и начало расчетного периода, мм; ΣO – сумма атмосферных осадков за расчетный период, мм; Σm – количество воды, поданной на поле путем дождевания (сумма поливных норм), мм; E – водопотребление (суммарное испарение) культуры за расчетный период, мм; Q – вертикальный влагообмен расчетного слоя почвы с нижележащими слоями, мм.

Поливные нормы необходимо принимать в зависимости от типа почв, вида сельскохозяйственных культур, фазы их развития согласно расчету по уравнению водного баланса, при этом в начале и конце вегетации они несколько занижены и для культурных пастбищ, многолетних и однолетних трав по нашим расчетам составляют от 15 до 25 мм.

Проведенные ранее исследования на мелиорируемом объекте «Никитское», расположенном в центральной части Мещерской низменности, по установлению

эксплуатационного режима увлажнения сельскохозяйственных культур, возделываемых на торфяных почвах в системе травопольно-пропашного севооборота, позволило установить оросительные нормы для вегетационного периода различной обеспеченности осадков [6] (табл. 1).

Таблица 1. – Оросительные нормы (мм) сельскохозяйственных культур на торфяных почвах (центральная Мещера) для вегетационных периодов различной обеспеченности

Культура	Обеспеченность		
	50%	75%	95%
Мн. травы	84	178	270
Овес	0	122	210
Капуста	98	115	135
Картофель	45	98	160

Поливная норма рассчитывалась по уравнению:

$$m = nh (W_0 - W_1), \quad (2)$$

где n – порозность торфяной почвы, % от объема; $W_0 - W_1$ – разность влагозапасов в расчетном слое h между оптимальной (W_0) и фактической (W_1) величиной.

При этом глубину расчетного слоя (h) следует устанавливать исходя из мощности торфяного слоя, который на сработанных и выработанных торфяниках, даже в разрезе одного поля варьирует от 10 до 50 см и более. Поэтому глубина расчетного слоя почвы может быть принята в размере 30 см, как их среднее значение. Что касается числа поливов, то их количество может изменяться от 2 до 8 и более в зависимости от метеорологических условий вегетационного пери-

ода. Так, в год с обеспеченностью осадков 95% под многолетние травы потребуется проведение 9 поливов, а под яровые зерновые (овес) – 7 с нормой полива 30 мм. При этом оросительные нормы соответственно составят 270 и 210 мм.

Установленный оптимальный режим увлажнения сельскохозяйственных культур на длительно используемых торфяных почвах позволяет повысить их урожай в 2–4 и более раз.

Структура посевных площадей и севообороты. Сработанные торфяные почвы следует использовать в щадящих севооборотах, отвечающим природным и мелиоративным особенностям объектов, производственно-экономическим интересам и возможностям землепользователей с учетом их экологической устойчивости [14].

При разработке структуры посевов необходимо учитывать особенности торфяных почв и не размещать здесь теплолюбивые культуры (томаты, тыквенные), а количество пропашных иметь в пределах 10–20%, в зависимости от мощности торфяного слоя.

Из группы зерновых культур на сработанных торфяных почвах лучше всего возделывать тритикали, озимую рожь, ячмень, овес. Предпочтительнее всего размещение озимой ржи, как на зерно, так и на зеленый корм. Высокую продуктивность здесь обеспечивают посевы люпина однолетнего и клевера розового.

Хорошие урожаи на этих почвах обеспечивают однолетние бобовые культуры (вика, горох, пелюшка), высеваемые со злаковыми компонентами: овсом, райграсом однолетним, а также поукосные крестоцветные посевы (рапса, сурепицы) после уборки однолетних трав. Возделывание пожнивных культур позволяет продлить продолжительность вегетационного периода.

Продуктивными и сохраняющими экологическую устойчивость торфяных почв являются многолетние травы, как в чистых посевах, так и в травосмесях.

Из группы пропашных культур на торфяных почвах с мощностью торфа более 50 см также рекомендуется выращивание картофеля и кормовой свеклы.

На применение той или иной более эффективной схемы севооборота, в первую очередь следует руководствоваться нормой осушения мелиорируемого объекта.

В этой связи рекомендуются следующие примерные схемы севооборотов:

- при залегании грунтовых вод в среднем за вегетацию 70–90 см: 1–7 – многолетние злаковые травы; 8 – озимая рожь на зеленую массу поукосно однолетние злаково-бобовые смеси или крестоцветные;
- при залегании грунтовых вод 90–120 см: 1–5 – многолетние злаковые травы; 6 – озимая рожь; 7 – однолетние злаково-бобовые смеси (вико-овес; вико-горох); 8 – овес;
- при залегании грунтовых вод ниже 120 см: 1 – люпин на зеленую массу + поукосные; 2 – озимая рожь; 3 – картофель, кормовая свекла; 4 – озимая рожь на зеленую массу + поукосная культура (рапс, сурепица); 5 – ячмень. Возможны и другие схемы севооборотов.

Обработка почвы. Обработка почвы в севообороте проводится в зависимости от предшественника, степени окультуренности и чистоты почвы, а также оптимальных сроков посева сельскохозяйственной культуры, под которую готовится поле.

Лучшие предшественники для основных культур приведены в таблице 2.

После многолетних трав проводится дискование дернины тяжелой дисковой бороной в два следа. Глубина обработки 8–10 см. Под озимые зерновые культуры обработку следует начинать сразу после первого укоса. После дискования на слабоокультуренных почвах проводится вспашка с предплужниками на глубину 20–30 см, разделка пласта дисковыми боронами вдоль пахоты, и планировка поверхности поля.

Таблица 2 – Рекомендуемые предшественники для основных сельскохозяйственных культур

№ п/п	Культура	Предшественники
1.	Многолетние травы	Пропашные, однолетние травы, силосные
2.	Яровые зерновые	Многолетние травы, пропашные, однолетние травы
3.	Озимая рожь	Многолетние травы, вико-овсяная смесь
4.	Картофель	Озимые зерновые, многолетние и однолетние травы
5.	Корнеплоды	Озимые и яровые зерновые, пропашные (из других семейств)

На хорошо окультуренных торфяниках под озимые, яровые зерновые и однолетние травы можно ограничиться проведением дискования на глубину до 18 см в 2–3 следа и обязательно прикатыванием до и после посева.

После зерновых культур однолетних трав следует провести лушение стерни и через 10–15 дней – вспашку без оборота пласта на глубину 20–25 см. На сильно засоренных участках после лушения стерни перед пахотой можно провести дискование на глубину 15–18 см.

После пропашных предшественников на чистых полях под все культуры можно ограничиться глубоким осенним дискованием в два следа. Глубину вспашки каждые два-три года необходимо чередовать от 20 до 30 см, с целью исключения создания плужной подошвы.

Зяблевую вспашку на хорошо окультуренных торфяных почвах следует проводить во второй половине сентября – начале октября. Под яровые зерновые культуры, а также многолетние травы весенних сроков посева подготовку почвы с внесением фосфорно-калийных удобрений, выравниванием поверхности и прикатыванием желательно провести осенью до наступления заморозков, что позволит проведение посева в ранние сроки.

Под пропашные (картофель, корнеплоды) весной проводится боронование зяби, дискование дисковой бороной в два следа на глубину 15–18 см, выравнивание поверхности и прикатывание.

В целом определять способ, сроки и глубину обработки следует с учетом мощности и свойства остаточного слоя торфа, подстилающего минерального грунта, сроки давности выхода из эксплуатации, увлажненности объекта и видом возделываемых сельскохозяйственных культур.

Известкование и применение удобрений. Большая часть мелиорируемых земель Мещерской низменности, в том числе сработанные торфяные почвы, характеризуются повышенной кислотностью. Кислотность длительно используемых торфяных почв обусловлена характером окислительно-восстановительных процессов и систематическим применением физиологически кислых удобрений, повышенным выносом соединений кальция и магния поверхностным и дренажным стоком. Кроме того, в составе почвенного поглощающего комплекса здесь содержатся токсичные для растений подвижный алюминий и закисное железо. Поэтому известкование и является важным агромелиоративным приемом восстановления кислых почв.

Норму известки следует рассчитывать на нейтрализацию полной гидролитической кислотности пахотного слоя по формуле:

$$D_p = 5 \cdot G \cdot H \cdot A, \quad (3)$$

где D_p – расчетная норма CaCO_3 , т/га; G – гидролитическая кислотность, мг-экв. на 100г почвы; H – глубина расчетного слоя почвы, м; A – объемная масса почвы, г/см³.

Для пересчета нормы CaCO_3 в физическую величину вносимого известкового материала применяется формула:

$$D_{cp} = \frac{D_p \cdot 10^6}{K \cdot (100 - B) \cdot (100 - B)}, \quad (4)$$

где D_{cp} – физическая норма известкового материала, т/га; K – содержание CaCO_3 в материале, %; B – содержание влаги в известковом материале, % на сухую навеску; B – содержание частиц крупнее 1 мм в известковом материале, %.

Известкование следует производить летом и осенью. Известь вносится под вспашку или с заделкой тяжелыми дисковыми боронами.

На сработанных торфяниках лучшим известковым материалом является доломитовая мука, содержащая магний, которым бедны эти почвы.

Лучший способ заделки известки в почву в кормовых и полевых севооборотах – запашка с предварительным дискованием, фрезерованием или культивацией на глубину 8–10 см. Вспашку следует проводить плугом без предплужников.

Для установления оптимальных норм органических удобрений определяющим фактором является мощность остаточного слоя торфа. При мощности слоя торфа до 10 см следует вносить от 50 до 100 т/га навоза в зависимости от возделываемых культур, при мощности более 20 см дозы навоза должны снижены до 10–20 т/га.

Дозы минеральных удобрений устанавливаются дифференцировано с учетом содержания доступных форм элементов питания в пахотном слое,

выносом их с урожаем возделываемой культуры и ее планируемым урожаем [7]. Примерные дозы минеральных удобрений приведены в таблице 3.

Расчет доз минеральных удобрений по элементам питания на мелиорируемых торфяных почвах рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{100 \cdot K_n \cdot Y - Q \cdot K_g \cdot V \cdot h}{K_y \cdot C_y}, \quad (5)$$

где D – доза минеральных удобрений физического вещества, ц/га; K_n – коэффициент выноса элементов питания с урожая, кг/га; Y – планируемая урожайность основной продукции, т/га; Q – содержание элементов питания в почве, мг на 100 г почвы; K_g – коэффициент использования питательных веществ почвы, %; V – объемная масса почвы, г/см³; h – мощность пахотного слоя, см; K_y – коэффициент использования питательных веществ удобрений, %; C_y – содержание питательного вещества в применяемом удобрении, %.

Значение коэффициентов K_n , K_g , K_y для основных сельскохозяйственных культур на торфяных почвах приведены в таблице 4 [10].

Таблица 3 – Примерные дозы минеральных удобрений на выработанных торфяниках, кг/га д.в.

Культуры	Азотные	Фосфорные	Калийные
Однолетние травы (зерновые)	60-90	60-90	90-120
Многолетние травы на зеленый корм (пастбища)	180-240	100-120	150-180
Корнеплоды	60-90	90-120	80-240

Таблица 4 – Значение коэффициентов K_n , K_g и K_y для расчета доз минеральных удобрений на программируемый урожай сельскохозяйственных культур, возделываемых на торфяных почвах

№ п/п	Культура	K_n (кг на 1 т)			K_g , %			K_y , %		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K
1.	Многолетние травы (сено)	23,0	4,5	24,0	18,0	7,5	20,0	57,0	22,0	55,0
2.	Однолетние травы (зел. корм)	5,8	1,2	6,0	14,0	5,5	14,0	45,0	16,0	40,0
3.	Картофель	5,5	1,7	9,0	18,0	7,5	20,0	57,0	22,0	55,0
4.	Кормовая свекла	5,8	1,6	6,3	18,0	7,5	20,0	57,0	22,0	55,0
5.	Озимая рожь	28,0	10,5	35,0	15,0	5,5	14,0	45,0	18,0	40,0

Величина мощности пахотного слоя может изменяться в зависимости от степени окультуренности почвы и обычно составляет от 20–30 см.

Объемная масса почвы определяется конкретно для каждого поля севооборота. При отсутствии условий определения ее следует ориентировочно принимать: на торфяных – 0,20–0,30; сработанных и выработанных торфяников – 0,40–0,80 г/см³ в зависимости от мощности органогенного слоя.

Содержание питательных веществ в почве определяется лабораторным путем или по имеющимся в хозяйстве почвенным картограммам.

Из микроудобрений наиболее эффективными являются медьсодержащие удобрения. Используются как пиритные огарки, так и медный купорос, соответственно в дозах 5 ц/га и 15–25 кг/га. Медьсодержащие удобрения следует вносить одновременно с фосфорно-калийными удобрениями, один раз в 4–5 лет. Дозы и способы микроудобрений показаны в таблице 5.

Таблица 5 – Дозы и способы применения микроудобрений

№ п/п	Удобрение	Доза	Способ применения
1.	Пиритные огарки	5 ц/га	Внесение в почву раз в 4-5 лет
2.	Медный купорос	15-25 кг/га	То же
3.	Борнодатолитовое удобрение	60 кг/га	Внесение в почву вместе с минеральными удобрениями или отдельно
4.	Молибденовокислый аммоний	100-200 г/га (на 300-500 л воды)	Внекорневая обработка
5.	Молибдат аммония	150-300 г/га (на 300- 500 л воды)	Внекорневая обработка

Сроки внесения минеральных удобрений определяются водным режимом и сроками проведения осенне-весенних полевых работ. На хорошо осушенном объекте, где грунтовые воды не поднимаются выше 60 см от поверхности, фосфорно-калийные удобрения можно вносить осенью под дискование. На недостаточно осушенных объектах с уровнем грунтовых вод ниже 60 см от поверхности, внесение фосфорных и калийных удобрений следует производить при весенних полевых работах. Все виды азотных удобрений, особенно нитратные формы азота, следует вносить непосредственно перед посевом или посадкой возделываемых культур, независимо от интенсивности осушения.

Под многолетние травы и пастбища при использовании повышенных доз азота азотные удобрения лучше всего вносить дробно. Основная доза (60–90 кг д.в./га) для трав 2, 3, 4 годов пользования вносится ранней весной, потом производится подкормка после каждого скашивания или стравливания скотом из расчета 45–60 кг д.в./га. Дробный способ применения азотных удобрений позволяет более эффективно использовать азот растениями и максимально снизить его вынос поверхностным и дренажным стоком.

Большой эффект на сработанных торфяниках дает внесение в качестве органического удобрения длительного действия органо-минерального удобрительного мелиоранта (ОМУМ). Состав мелиоранта следующий: полова – 50%; навоз – 15%; торф низинный хорошо разложившийся – 30%; НРК – из расчета азота – 30, фосфора – 45 и калия – 60 кг д.в. на гектар; медь – из расчета 25 кг медного купороса на гектар и известь в зависимости от кислотности поля мелиорируемого объекта (от 1 до 3 тонн) на один гектар и микробные препараты (ЭМ–культура) [9, 11].

ЭМ–культура имеет сложный состав, состоящий из фотосинтезирующих, азотофиксирующих, молочнокислых бактерий и эффективных ферментов.

Доза внесения ОМУМ составляет 60 т/га, периодичность внесения один раз в три года. Технология внесения ОМУМ в почву показана в таблице 6 [8].

Таблица 6 – Технология внесения в почву ОМУМ

№ п/п	Операция	Технологические параметры	Технологические средства
1.	Предварительная обработка почвы	Вспашка, выравнивание поверхности почвы	Плуг, планировщик ПЭ-3,0
2.	Внесение ОМУМ	Равномерное разбрасывание смеси на поверхность почвы	Машина для внесения удобрений МВУ-8Б
3.	Обработка почвы после внесения смеси	Дискование в два следа, глубокое фрезерование	Борона БДТ-3,0, фреза ФБ-2,0
4.	Полив ЭМ – культурой	Дождевание с интенсивностью не более 0,6 мм/мин	Переносная шланговая установка АГРОС-32, установка КИ-5

Применение органо-минерального удобрительного мелиоранта в качестве органического удобрения [15,16,17] длительного действия позволяет при выращивании многолетних трав получать до 6,5 тыс. корм. ед./га и увеличить содержание гумуса в почве на 0,5 и более процентов ежегодно. Технологические операции агрохимических мероприятий проведены в таблице 7.

Выводы

Применение комплекса мелиоративных мероприятий (внесение органо-минерального удобрительного мелиоранта, поддержание оптимального водного режима почв шлюзованием и дождеванием) позволяет при выращивании многолетних трав получать до 6,5 тыс. корм. ед./га и увеличить содержание гумуса в почве на 0,5 и более процентов ежегодно, что подтвердилось внедрением данной технологии в хозяйстве ЗАО «Московское».

Таблица 7 – Технологические операции, орудия и механизмы внесения извести, минеральных и органических удобрений

№ п/п	Технологические операции	Условия, время проведения	Количественные показатели	Орудия и механизмы
1.	Внесение извести (доломитовой муки)	Под предпосевную обработку	Расчетные дозы по гидролитической кислотности	АРУП-8 РУМ-8
2.	Внесение минеральных удобрений	Под предпосевную обработку калий и фосфор частично азот. Подкормку азот	Расчетные дозы на планируемый урожай согласно картограммы	1РМТ-4 РУМ-5
3.	Внесение органических удобрений	Под предпосевную вспашку	Расчетные дозы внесения от 10-100 т/га	РПН-4

Список использованных источников:

1. Крештанова В.Н. Генетические особенности и оценка плодородия выработанных торфяников России // [Текст]. Докл. Межд. научн. -практ. конфер. / Повышение эффективности мелиорации сельскохозяйственных земель. – Минск, 2005. – С. 178–179.
2. Томин Ю.А. Проблема использования торфяных почв в сельскохозяйственном производстве // [Текст]. / Г.Г. Гулюк, Ю.П. Пожогин, А.Б. Дакукина // Экологические аспекты мелиорации земель юга Нечерноземья. – Изд-во МГУ, 2003. – С. 232–236.
3. Панов Е.П. Режим осушения переувлажненных почв Рязанской Мещеры. // [Текст]./ Томин Ю.А. // Матер. научно-практ. конфер. «Пути повышения эффективности использования мелиорируемых земель в Рязанской области». – Рязань, 1979. – С. 15–19.
4. Томин Ю.А. Требования сельскохозяйственных культур к водному режиму. // [Текст]. Рекомендации по эффективному использованию мелиорируемых земель Рязанской области». – Рязань, 1977. – С. 41–42.
5. Критерии и методика оценки мелиоративного состояния осушенных земель нечерноземной зоны Российской Федерации. // [Текст]. Докл. Межд. научно-практ. конфер. «Повышение эффективности мелиорации сельскохозяйственных земель». – Минск, 2005. – С 404–407.
6. Маслов Б.С. Эффективность и режим увлажнения сельскохозяйственных культур на торфяных почвах в засушливые годы // [Текст]./ Марчук Р.Н., Томин Ю.А. // Экспресс-информация, серия 2. – Вып. 5 «Осушение и осушительные системы». – М., 1973. – С. 8–11.
7. Емельянова И.М. Технологические схемы по окультуриванию и использованию выработанных торфяников в Ленинградской области // [Текст]./ Кашенко Т.Д., Мальшева Г.А. // – Л., 1979. – С. 164.
8. Кирейчева Л.В. Повышение плодородия почв на основе внесения сапропелей // [Текст] / Хохлова О.Б. // Вестник РАСХН, 2005. – №5. – С. 37–40.
9. Кирейчева Л.В. Удобрительно-мелиорирующие смеси на основе сапропелей // [Текст] / Хохлова О.Б. // Плодородие, 2004. – №4. – С. 26–28.
10. Евсенкин К.Н. Эффективность удобрительного мелиоранта на повышение плодородия сработанных торфяных почв. [Текст] / Евсенкин К.Н., Перегудов С.В., Нефедов А.В., Иванникова Н.А.// Научные и технологические подходы в развитии аграрной науки под ред.

В.П. Зволинский и др. // М. Издательство «Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук», 2015г. с. 269.Рязань, 1977, с. 41-47.

11. Кирейчева Л.В. Способ приготовления удобрительно-мелиорирующей смеси на основе карбонатного сапропеля // [Текст]. / Хохлова О.Б.//Патент РФ № 2286321 от 27.10.2006.

12. Мусаев Ф.А. Оценка загрязнения мелиорируемого агроландшафта азотосодержащими веществами и методы их снижения [Текст] Мусаев Ф.А., Евсенкин К.Н., Добрачев Ю.П., Захарова О.А. Монография. -Рязань: РГАТУ,2014,-158с.

13. Добрачев Ю.П. Шлюзование – один из методов снижения загрязнения водных объектов минеральным азотом. Мелиорация и окружающая среда. [Текст] Евсенкин К.Н.// Юбилейный сборник научных трудов, т.1, Москва, 2004, с.225-226.

14. Перегудов С.В. Изучение приемов повышения продуктивности сработанных торфяных почв [Текст] Евсенкин К.Н., Перегудова А.В., Фомкин А.В. // Агрехимический Вестник. – 2014.- №2. С. 14-17.

15. Иванникова Н.А. Удобрительный мелиорант и подпочвенное увлажнение как факторы повышения урожайности однолетних трав [Текст] / К.Н. Евсенкин, С.В. Перегудов, А.В. Нефедов // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 4. - С. 2 – 5.

16. Евсенкин К.Н. Воздействие органоминерального удобрительного мелиоранта на плодородие и урожай [Текст] / С.В. Перегудов, А.В. Нефедов, А.В. Фомкин, Н.А. Иванникова // «Комплексные мелиорации основа повышения продуктивности сельскохозяйственных земель» Материалы юбилейной междунароод. конф. – М. - ВНИИА, 2014. - С. 62.

17. Кирейчева Л.В.Обоснование использования удобрительно-мелиорирующей смеси на основе торфа и сапропеля для повышения плодородия деградированных почв [Текст] Кирейчева Л.В., Нефедов А.В., Евсенкин К.Н., Ильинский А.В., Виноградов Д.В., Иванникова Н.А.

УДК 502/504:631.6.02

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГТС МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА В ВОПРОСАХ СБОРА, ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ПОЛУЧЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ.

Жезмер В.Б.

ФБГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В статье предложена структура автоматической системы мониторинга ГТС мелиоративного комплекса.

Методы защиты и безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений в настоящее время разработаны достаточно подробно.

Первостепенной задачей остается определение целесообразности ремонта, реконструкции, нового строительства и эксплуатации ГТС, входящих в гидромелиоративные системы. Приведены принципы разработки системы комплексной оценки и мониторинга состояния ГМС региона, направленной на информационное обеспечение поддержки принятия решений.

Целью мониторинга в данном случае является информационное обеспечение рациональной и безопасной эксплуатации ГТС, предназначенных для водоресурсного обеспечения мелиоративного комплекса. Определено целевое назначение обработки и систематизации данных по мониторингу, в частности, ГТС водохозяйственной единицы.

Приведены основные требования к результатам мониторинга, способным служить основой для решения ряда задач, связанных с водоресурсным обеспечением оросительных мелиораций.

Ключевые слова: ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ, ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ, ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ УЧАСТОК, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ, ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, МЕЛИОРАТИВНЫЕ СИСТЕМЫ, МОНИТОРИНГ, НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВОД, ОХРАНА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ, СКРИНИНГ РЕШЕНИЙ.

Введение

Существующая система мониторинга ГТС мелиоративного комплекса как в вопросах сбора и хранения, так и, обработки полученной информации не соответствует современным требованиям. Информация по уровню безопасности гидротехнических сооружений представляет собой отрывочные сведения и обновляется, в лучшем случае, каждые пять лет. При этом как для ведения мониторинга параметров (количественных показателей), так и мониторинга состояния объекта (качественных показателей), интервал между измерениями в пять лет представляет собой скорее периодическую паспортизацию, чем мониторинг.

Базы данных результатов мониторинга не существует, соответственно, отсутствует и система управления, которая, по нашему мнению, должна быть реляционной, способной полностью управлять базой данных, используя связи между данными, и соответствовать 12 правилам Кодда [1]. Таким образом, проведение комплексного и многофакторного анализа состояния гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса по данным мониторинга, предусмотренное СТО 70238424.27.140.042-2009 [2], чрезвычайно затруднено, а подчас невозможно.

Методика исследований

Основными компонентами методической базы научно-исследовательских работ являются:

- теоретико-методологические основы и обобщение опубликованных научных и практических результатов, выполненные исследования ВНИИГиМ и научно-исследовательских институтов отрасли, анализ опыта эксплуатации ГТС гидромелиоративных систем, и оценка риска аварии при эксплуатации гидротехнических сооружений.

- способы использования комплексных информационных систем;

- работы отдела безопасности ГТС гидромелиоративного комплекса за 2007-2017 гг.

Результаты и обсуждение

Методы анализа и обработки данных мониторинга гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса

В настоящее время осуществление мониторинга и комплексной оценки состояния ГМС водохозяйственной единицы и входящих в нее ГТС возможно только в автоматическом режиме.

Анализ данных мониторинга позволяет:

1. Оптимизировать управление и безопасную эксплуатацию ГТС;
2. Оценить состояние ГТС на всей цепочке водоподачи от водо-источника до поля, что дает возможность косвенно определить уровень непроизводительных потерь воды при транспортировке;
3. Сравнить состояние и степень износа ГТС различных гидромелиоративных систем для обоснования следующих решения:
 - определение первоочередных объектов для ремонта и реконструкции;
 - определение комплекса мероприятий для оптимизации водоресурсного обеспечения оросительных мелиораций;
 - определение комплекса мероприятий для получения гарантированного валового продукта.

Для его организации необходимо оснащение и создание многоуровневой системы автоматизированного ведения мониторинга ГТС, являющейся информационной основой для поэтапного осуществления мероприятий по восстановлению гидромелиоративных систем, а также для определения необходимого водоресурсного потенциала функционирующих орошаемых земель.

В идеале такая система должна представлять собой базу данных, охватывающую гидротехнические системы мелиоративного комплекса, по крайней мере, Европейской части РФ, совместимую с базой данных Российского регистра гидротехнических сооружений. Управление такой базой данных требует применения интегрированных автоматизированных систем управления [3].

На российском рынке представлены комплексные информационные системы, включающие контроллинговый компонент, как зарубежных (Share-Point, Microsoft Project Server, Oracle Primavera), так и отечественных («Аванта», «Асведа», «Галактика», «Флагман», «Алеф») фирм. Такие системы, представляющие из себя платформу-конструктор, обладающую гибкостью и универсальностью для настраивания объектов сложной структуры, позволяют [4]:

- осуществлять комплексный мониторинг значительного количества объектов на любых уровнях управления;
- разворачивать инфраструктуру системы на весь комплекс объектов путем создания единой информационной платформы с многоуровневой иерархией и возможностью подключения неограниченного количества пользователей;
- поэтапно, согласно росту уровня требований, наращивать уровень сложности и функциональности системы;
- ограничиться одной информационной системой на всех уровнях, без использования других инструментов, таких как Outlook и Excel;

- изменять визуальные настройки без программирования, путем изменения текущих параметров или создания новых объектов системы с новыми реквизитами и методами их обработки;
- полностью автоматизировать сбор важной для управления информации;
- проводить фильтрацию и анализ общего потока оперативных данных, агрегируя полученные результаты и преобразуя их в управленческую информацию;
- получать мгновенный доступ к любой информации в системе через интернет-портал;
- обеспечить многопользовательский режим работы, включая децентрализованное использование;
- осуществлять электронный документооборот, дающий возможность предоставлять на бумажном носителе только выходные документы.

Структура системы автоматизированного мониторинга приведена на рисунке 1.

Система автоматизированного мониторинга ГТС мелиоративного назначения.

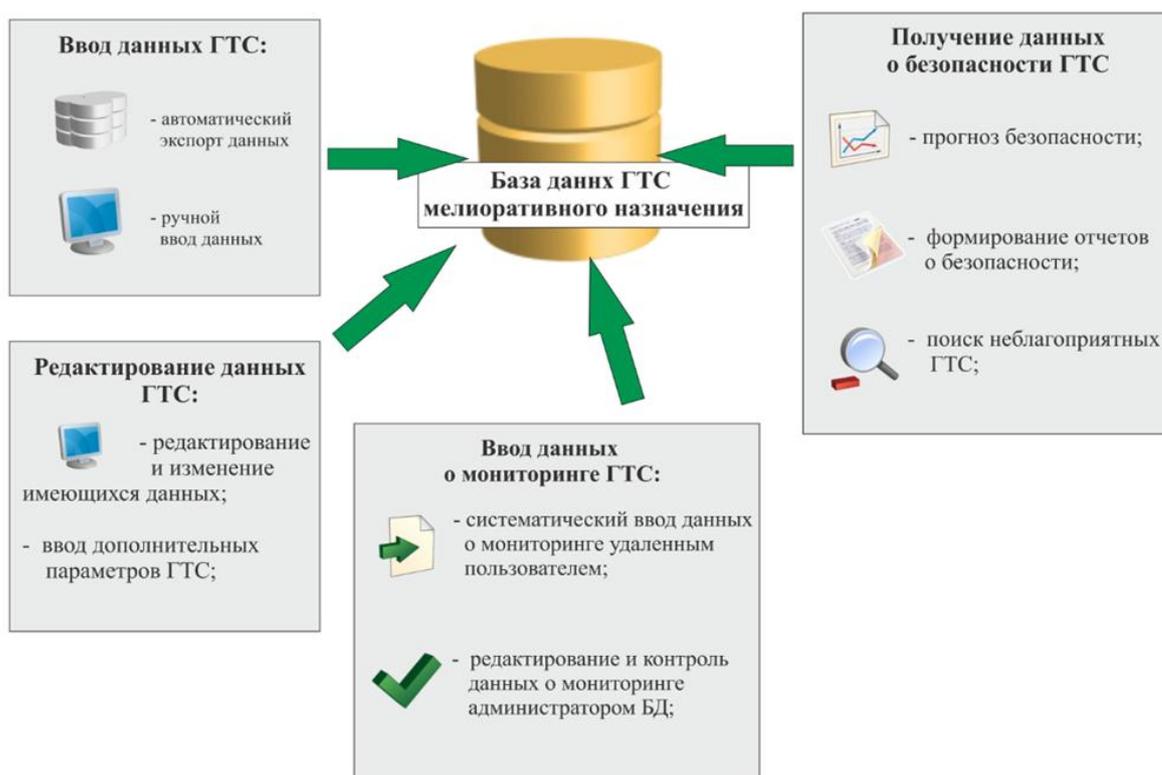


Рисунок 1 - Структура системы автоматизированного мониторинга ГТС гидромелиоративного комплекса

Информация, полученная в результате функционирования многоуровневой системы автоматизированного ведения мониторинга ГТС мелиоративного комплекса, может быть использована для решения насущных производственных вопросов, планирования производства на перспективу, определения потребностей в водных ресурсах следующим организациям (табл. 1).

Таблица 1 - Организации, которым необходима обобщенная (структурированная) информация по мониторингу ГТС мелиоративного комплекса

№№ п/п	Организация*	Решаемые проблемы
1	МПР России, ФАВР	- оптимизация водоресурсного обеспечения оросительных мелиораций.
2	Департамент мелиорации Минсельхоза России	- оптимизация управления ГТС; - сравнение состояния и степени износа ГТС различных гидромелиоративных систем; - определение первоочередных объектов ремонта и реконструкции; - поэтапное восстановление гидромелиоративных систем; - ликвидация локальных вододефицитов в отдельных районах РФ, в частности, путем устранения потерь воды при транспортировке
3	Ростехнадзор МЧС России	- безопасная эксплуатация ГТС
4	Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; Федеральное агентство водных ресурсов; Федеральная служба по надзору в сфере природопользования	- восстановление и охрана водных объектов
5	Ростехнадзор МЧС России. Департамент Мелиорации Минсельхоза России	- сокращение числа аварийных гидротехнических сооружений, в том числе бесхозяйных
6	Ростехнадзор МЧС России	- сокращение негативного антропогенного воздействия вод и экологическая реабилитация водных объектов путем устранения аварий на ГТС
7	Департамент мелиорации Минсельхоза России	Оценка риска аварий на объектах гидромелиоративных систем

*Имеются в виду как федеральные службы, так и их региональные управления.

Для обслуживания интегрированной автоматизированной системы управления базой данных ГТС мелиоративного комплекса (СУБД), по мнению авторов, может быть создан центральный аппарат и филиалы на территории бассейнов крупнейших рек России и в субъектах с наиболее интенсивным развитием орошаемого земледелия.

При создании СУБД необходимо обеспечить многопользовательский режим работы, включая децентрализованное использование, что даст возможность каждой из вышеназванных организаций использовать базу данных для решения своих специфических вопросов.

Системное решение проблемы водообеспеченности объектов мелиоративного комплекса

Основными факторами, способствующими созданию дефицита воды для нужд мелиоративного комплекса, согласно Федеральной целевой программе "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012 - 2020 годах" [5] являются:

- а) применение устаревших водоемких производственных технологий;
- б) недостаточная степень оснащённости водозаборных сооружений системами приборного учета;
- в) высокий уровень потерь воды при транспортировке вследствие неудовлетворительного технического состояния ГТС.

Меры по устранению негативного влияния фактора а):

- снижение площадей орошения (с одновременной интенсификацией с/х производства или без);

- замена устаревших водоемких производственных технологий на современные с использованием маловодотребовательных методов орошения, в частности, применение водосберегающих режимов и способов орошения, ГМС нового поколения с замкнутым циклом водооборота и автоматизацией водораспределения и водоучета на основе микропроцессорной техники, обеспечивающих строго нормированную подачу и экономию поливной воды.

Меры по устранению негативного влияния фактора б):

- оснащение водозаборных сооружений системами приборного учета.

Меры по устранению негативного влияния фактора в):

- ремонт и модернизация имеющихся транспортирующих ГТС с целью снижения непроизводительных потерь воды при транспортировке.

Производится с учетом приоритетов, устанавливаемых исходя из суммы двух составляющих:

- затраты на восстановление почвенного плодородия орошаемого участка;
- затраты на ремонт и модернизацию эксплуатируемых ГТС.

Расчет, для удобства сравнения, ведется исходя из суммарных затрат на один гектар орошаемой площади. Данные по стоимости восстановления почвенного плодородия планируется получать непосредственно у организации, эксплуатирующей орошаемый участок, затраты на ремонт и модернизацию эксплуатируемых ГТС определяются исполнителем.

Кроме указанных способов, для устранения дефицита орошаемой воды применяют внутригодовое регулирование стока, а также переброску части стока из других бассейнов.

Выбор способа устранения воздействия факторов, оказывающих негативное влияние на уровень рациональности использования водных ресурсов (одного или комплекса) определяется после их детального изучения.

Для решения проблемы дефицита оросительной воды необходимо скоординировать действия финансово-экономического, организационного, правового, научно-методического, агротехнического и т.п. характера, а также разработать план обеспечения мероприятий необходимыми ресурсами.

В конечном итоге все мероприятия сводятся к экономии оросительной воды тем или иным способом, а выбор способа, или комплекса способов рационализации использования водных ресурсов, напрямую зависит от размера капиталовложений.

Для системного решения проблемы водообеспеченности рекомендуется составление Схем планируемого водообеспечения объектов АПК на муниципальном, региональном, бассейновом или окружном уровнях, в зависимости от масштабов проекта, оценка состояния всех оросительных и водно-транспортных систем, разработка комплекса мероприятий по их восстановлению с выделением первоочередных объектов [6]. Строительство новых и реконструкцию функционирующих гидромелиоративных систем, как затратные мероприятия, целесообразно проводить после восстановления работоспособности существующих ГМС.

В данном случае анализируется схема, в которой целью мероприятий является эффективное вложение средств при ремонте (капитальном ремонте) элементов гидромелиоративных систем водохозяйственной единицы (речной бассейн, подбассейн, водохозяйственный участок).

Такой комплекс мероприятий обычно рекомендуется осуществлять поэтапно, в соответствии с объемом инвестиций, наличием трудовых и технических ресурсов [7]. При поэтапном проведении работ становится необходимым ввести систему приоритетов для вложения средств, то есть применить метод *приоритетного инвестирования*.

Система приоритетов на различных этапах проведения работ может существенно различаться в зависимости от лимитирующего фактора. В нашем случае лимитирующими факторами могут быть:

- объем финансирования (первый этап);
- доступные водные ресурсы (второй этап);
- мероприятия, обеспечивающие максимально возможный в данных условиях объем валового продукта (третий этап).

На первом этапе, в условиях дефицита финансирования, необходимо решить задачу производства гарантированного валового продукта, то есть окупаемости затрат и получения прибыли в кратчайшие сроки.

Такая задача может быть решена путем приведения в работоспособное состояние трех составляющих ГМС:

- ГТС (наиболее важных элементов сооружений);

- оросительной, осушительной техники;
- плодородия орошаемых, осушаемых почв.

На втором этапе принимаются меры по рационализации водопользования.

Рационализация водопользования - комплекс мер по снижению количества оросительной воды, затраченной на производство единицы продукции, что предполагает снижение потерь водных ресурсов на всей цепочке подачи воды от водисточника до поля, а также на орошаемом поле, вследствие этого может рассматриваться только в комплексе. Так как количество оросительной воды, затраченной на производство единицы продукции, при возрастании плодородия почвы снижается [8], увеличение плодородия орошаемых почв способствует рационализации водопользования.

Третий этап, особенно актуальный при дефиците воды для орошения, включает замену выращиваемых культур на менее водотребовательные, устаревших водоемких производственных технологий - на современные, с использованием водосберегающих режимов и способов орошения, ГМС нового поколения с замкнутым циклом водооборота и автоматизацией водораспределения и водочета на основе информационных технологий и др. [9].

Указанные мероприятия требуют значительных затрат времени и средств, что возможно только после детального обследования и составления плана восстановительных работ по каждому отдельно взятому объекту.

Выбор объектов для многолетнего приоритетного инвестирования работ по восстановлению и реконструкции гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса путем скрининга (просеивания) решений

В результате анализа информации на каждом этапе появляется множество возможных решений. Скрининг (просеивание) решений подчиняется строгим правилам. Согласно Г. Саймону [30], можно выделить четыре основных ступени этого процесса:

1. идентификация проблемы и сбор информации;
2. конструирование или поиск относительно небольшого числа возможных вариантов действия;
3. окончательный выбор предпочтительного варианта на основе детального анализа отобранных вариантов;
4. использование выбранного варианта и анализ информации, полученной в этом процессе.

Идентификация проблемы и сбор информации

Цель мероприятий (идентификация проблемы) определяется инвестором, которым может выступать как государство, так и частный капитал (возможно их доленое участие). При условии поэтапного проведения работ финансы являются лимитирующим фактором, следовательно, рассматривается проблема приоритетного инвестирования с определением видов и объемов осуществляемых мероприятий. В данной работе анализируется только гидротехническая составляющая

щая (доставка воды от водоисточника до поля). Предполагается, что информацию по мелиоративной и почвенной составляющей проблемы могут предоставить соответствующие службы.

В нашем случае конечной целью сбора информации является оценка физического износа гидротехнических сооружений.

Сбор информации включает следующие задачи:

- разработка деклараций безопасности ГТС (комплекса ГТС) подлежащих декларированию объектов, согласно утвержденной форме [10];

- комиссионное обследование не подлежащих декларированию ГТС гидромелиоративного комплекса, аналогичное преддекларационному, согласно утвержденной форме [11];

- инструментальное обследование ГТС (при необходимости) согласно составленному при комиссионном обследовании перечню;

- комплексный анализ с оценкой прочности, устойчивости и эксплуатационной надежности ГТС, находящихся в эксплуатации более 25 лет, независимо от состояния [12];

- получение информационных данных о ГТС водохозяйственной единицы, аналогичных сведениям, необходимым для внесения сооружения в Российский регистр ГТС согласно утвержденной форме [13];

- ведение (организация и ведение) мониторинга ГТС гидромелиоративного комплекса с получением максимального объема необходимой информации.

На основании полученных данных проводится оценка физического износа ГТС (в %). Существует значительное количество методов оценки износа ГТС [14]. *Важно, чтобы оценка износа сравниваемых объектов проводилась по одной методике.*

Восстановительную стоимость ГТС (отдельных конструктивных элементов сооружений) можно определить, используя Сборник № 37 укрупненных показателей восстановительной стоимости зданий и сооружений для переоценки основных фондов [15].

Конструирование или поиск относительно небольшого числа возможных вариантов действия

Оптимизация водоресурсного обеспечения оросительных и осушительных мелиораций невозможна без рационального водопользования - комплекса мер по повышению эффективности использования водных ресурсов.

Рациональное водопользование включает в себя:

- устранение (снижение) непроизводительных потерь воды при транспортировке от водоисточника до поля;

- устранение (снижение) непроизводительных потерь воды при орошении;

- обеспечение эффективного использования поливной воды за счет восстановления (повышения) плодородия почвы.

- обеспечение эффективного использования поливной воды за счет внедрения новых технологий выращивания сельскохозяйственных культур.

При анализе затрат на восстановление ГМС необходимо учитывать следующее.

1. Степень износа каждого элемента водоподводящей сети должна быть такова, чтобы для восстановления его функций можно было ограничиться капитальным ремонтом, не применяя гораздо более затратной реконструкции;

2. Степень износа оросительной техники должна быть такова, чтобы для восстановления ее функций можно было ограничиться капитальным ремонтом, не применяя гораздо более затратной реконструкции;

3. Плодородие почвы должно быть определяющим фактором, так как восстановление нарушенного плодородия является как затратным, так и длительным, зачастую многолетним процессом.

Гидромелиоративные системы (элементы систем), не соответствующие указанным принципам, из объектов скрининга исключаются.

При определении вариантов действия анализируются следующие показатели (в данном случае для гидромелиоративной системы):

1. Затраты на устранение (снижение) непроизводительных потерь воды при транспортировке от водоисточника до поля, то есть стоимость восстановления работоспособности ГТС (элементов сооружений);

2. Затраты на устранение (снижение) непроизводительных потерь воды при орошении сельскохозяйственных культур, то есть стоимость восстановления работоспособности оросительной техники;

3. Затраты на восстановление (повышение) плодородия почвы.

Внедрение новых технологий выращивания сельскохозяйственных культур, увеличивающее эффективность использования поливной воды, может быть применено только на восстановленных, исправно функционирующих гидромелиоративных системах, поэтому затраты на внедрение новых технологий в данной работе не рассматриваются.

Сложив указанные затраты, получим стоимость K восстановления ГМС до уровня эффективного функционирования (I этап) или рационального водопользования (II этап), (формула 1):

$$K = \sum_{i=1}^n X_i + \sum_{t=1}^m Y_t + \sum_{j=1}^f Z_j \quad (1)$$

X_i – затраты на ремонт i – го гидротехнического сооружения, руб;

Y_t – затраты на восстановление работоспособности t –го элемента оросительной или осушительной техники, руб.;

Z_j – затраты на восстановление плодородия почвы j –го орошаемого участка, руб.

Руководствуясь вышеприведенными принципами, определяют стоимость восстановления элементов каждой из анализируемых ГМС.

Затраты на восстановление ГМС по первому и второму этапу могут различаться в соответствии с поставленными задачами.

Окончательный выбор предпочтительного варианта на основе детального анализа отобранных вариантов

Установив сумму затрат на восстановления ГМС анализируемого участка, необходимо определить принципы, по которым может быть проведено сравнение для выбора предпочтительного варианта действий. Оптимальным представляется сравнение затрат p на восстановление работоспособности ГМС (по I или II этапу) в пересчете на гектар, руб./га. При этом можно сравнить ГМС, обслуживающие участки различной площади s , га (формула 2):

$$P = K/s \quad (2)$$

Первоочередными объектами для инвестиций следует считать ГМС, где p будет минимальной. Таким образом может быть определена также стоимость восстановления ГМС, где плодородие полей различается в значительной степени.

При этом за s в формуле 2 принимается площадь полей конкретной ГМС, где отсутствуют негативные коренные изменения в состоянии земель, а плодородие может быть восстановлено в кратчайшие сроки; за K - стоимость восстановления элементов гидромелиоративной системы, обеспечивающих орошение или осушение только указанных площадей.

Использование выбранного варианта и анализ информации, полученной в этом процессе.

Определив ГМС, являющиеся первоочередными объектами для многолетнего приоритетного инвестирования работ, а также зная объем и способы инвестирования, составляется программа действий. Программа включает комплекс мероприятий по рационализации водопользования, а также всесторонний анализ информации, полученной в этом процессе.

Заключение. Таким образом, широкое внедрение методов ведения мониторинга и осуществления комплексной оценки состояния ГМС водохозяйственной единицы и входящих в нее ГТС в автоматическом режиме позволяет:

- более эффективно решать проблемы водообеспеченности объектов мелиоративного комплекса;
- производить качественную оценку состояния всех оросительных и водно-транспортных систем, разработку комплекса мероприятий по их восстановлению с выделением первоочередных объектов;
- производить выбор объектов для многолетнего приоритетного инвестирования работ по восстановлению и реконструкции гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса путем скрининга (просеивания) решений.

Применение указанных мероприятий делает возможным как значительное снижение риска аварий на ГТС мелиоративного комплекса, так и более эффективное вложение средств при восстановлении работоспособности гидротехнических сооружений.

Список использованных источников:

1. Codd, Edgar Frank: "Is Your DBMS Really Relational?", ComputerWorld, 14. October 1985.

2. Гидроэлектростанции. Долговременные наблюдения за развитием техноприродных процессов в зоне взаимодействия оснований и сооружений.
Нормы и требования. СТО 70238424.27.140.042-2009. Дата введения - 2009-12-31. Москва, 2009 г.
3. Ибрагимов А.Г. Рекс Л.М. Контроллинг в деятельно-техноприродной системе. М., 2014 г., 162 с.
4. Четыре основных принципа успешного построения системы управления проектами <http://q99.it/8AKaHdp>; www.adwanta-group.ru.
5. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. N 1662-р.
6. EEWCA WATER PROFESSIONALS PARTNERSHIP Moscow, Russia, Nov. 8-9 2013.
7. Проблемы водоснабжения на Крымском полуострове и поиск их решения. Мелиорация и водное хозяйство, № 3, 2014 г., с. 2-6.
8. Лысогоров С. Д. Орошаемое земледелие. М. «Колос», 1965 г., 278 с.
9. Волинов М.А., Жезмер В.Б. Сидорова С.А. Алгоритм формирования региональных схем обеспечения водными ресурсами оросительных мелиораций «Мелиорация и водное хозяйство», № 5-6, 2014 г., с. 47-50.
10. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору N 377 от 2 июля 2012 г. «Об утверждении формы декларации безопасности гидротехнических сооружений (за исключением судоходных гидротехнических сооружений)».
11. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30 октября 2013 г. № 506 «Об утверждении формы акта преддекларационного обследования гидротехнических сооружений (за исключением судоходных и портовых гидротехнических сооружений)».
12. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. Утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. N 623 и введен в действие с 1 января 2013 г. Зарегистрирован Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). Пересмотр СП 58.13330.2010 "СНиП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения".
13. Об утверждении Инструкции о ведении Российского регистра гидротехнических сооружений. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Приказ от 29 января 2013 года N 34.
14. Щедрин В.Н., Васильев С.М., Слабунов В.В. Основные правила и положения эксплуатации мелиоративных систем и сооружений, проведения водоучета и производства эксплуатационных работ. Т. 2, ФГБНУ «РосНИИПМ», Изд-во ООО «Геликон», Новочеркасск, 2013 г., 262 с.
15. Сборники укрупненных показателей восстановительной стоимости зданий и сооружений для переоценки основных фондов № 37 [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://psb-energo.ru>, 2012 г.

УДК 615.838:338 (470.47)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕКРЕАЦИИ

Иванова В.И., Манджиева Т.Н.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

На территории Республики Калмыкия расположены бальнеологические комплексы, дома отдыха и особо охраняемые природные территории, которые используются в целях оздоровления и активного отдыха как местного населения, так и приезжих. Вода и грязи соленых месторождений обладают терапевтическими свойствами, использующиеся для принятия лечебных грязевых ванн, купания и галотерапии.

Ключевые слова: ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ОЗДОРОВЛЕНИЕ, БАЛЬНЕОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС, ПАМЯТНИКИ ПРИРОДЫ, ЗАПОВЕДНИК, МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ, СОЛЕННЫЕ ОЗЕРА, ЛЕЧЕБНЫЕ ГРЯЗИ.

Вода является одним из основных элементов биосферы, без которых невозможно существование любых живых организмов и осуществление технических и технологических операций. Вода является определяющим фактором состояния окружающей среды, социальной сферы и экономики. Так, она вовлекается в различные отрасли народного хозяйства – сельское хозяйство и промышленность, коммунально-бытовое хозяйство, развитие мероприятий для отдыха и спорта, создание широкой сети лечебно-оздоровительных учреждений и др.

В условиях континентального климата Калмыкии, когда из-за малого количества осадков и высоких температур в летнее время часто повторяются засухи и суховеи, особая роль принадлежит водным ресурсам, и поэтому изучение гидрологического режима водоемов следует считать наиболее важным и актуальным.

Естественная гидрографическая сеть республики представлена бессточными балочными водоемами восточного склона Ергенинской возвышенности, двумя группами озер Прикаспийской низменности (Сарпинскими и Состинскими), и водоемами, локализованными в Кумо-Манычской впадине [10].

В последние годы актуален вопрос рационального водопользования, так как территория Калмыкии относится к маловодообеспеченным регионам страны, и все отрасли хозяйства республики ощущают дефицит водных ресурсов. Во многих работах большое внимание уделено водному хозяйству, мелиорации, орошению, обводнению земель, рациональному и эффективному использованию, питьевому водоснабжению [4, 5].

Следует отметить, что Цуркан С.Я. изучал подземные воды Калмыкии в целях отнесения их к минеральным лечебным и установил, что на территории республики сочленяются четыре артезианских бассейна подземных вод: Азово-

Кубанский, Восточно-Предкавказский, Ергенинский и Прикаспийский. Причем подземные воды двух первых бассейнов поступают с Северного Кавказа, а воды Ергенинского и Прикаспийского – формируются в республике. По его данным в Калмыкии насчитывается более 20 типов минеральных вод, имеющих определенную лечебную ценность [12].

На территории республики есть возможность для активного отдыха и оздоровления в бальнеологических и климатических санаториях и домах отдыха. Из них в первую очередь отметим Аршанский бальнеологический комплекс на базе бромных вод (Приютненский район), тепличный и бальнеологический комплекс на базе термальных вод Касаткинского месторождения (Сарпинский район) и Каспийского месторождения (Лаганский район). Для охотников и рыболовов-любителей есть уголья на Сарпинских озерах, на Чограйском водохранилище, на р. Куме и на Прикаспийской низменности.

Схемой территориального планирования РК [9] для развития рекреационной отрасли предлагается создание туристического комплекса на территории Целинного района, предусматривающий маршрут:

- с. Троицкое - «Курдюковский хутор», пруд, зеленая зона;
- п. Хар-Булук – целебные источники у «Одинокого тополя», буддийский хурул;
- п. Чагорта – рыбная ловля, конюшня ахалтекинцев, дончаков, начало отрезка Великого шелкового пути, проходившего по территории района, большой курган, рыбная ловля;
- п. Овата – Ступа просветления;
- п. Бага-Чонос – калмыцкий хотон, фольклорно-этнографический праздник;
- п. Дубравный – усадьба князя Дондукова;
- п. Бор-Нур – крестьянско-фермерское хозяйство «Ангай»;
- п. Ики-Чонос – буддийский хурул.

Для экологического туризма используются 38 особо охраняемых природных территорий различного уровня, в том числе: Государственный природный биосферный заповедник «Черные земли» с орнитологическим участком; два национальных природных парка в Волго-Ахтубинском междуречье (Юстинский район) и «Бамб цецг» (Целинный район); 12 государственных природных заказников, 3 из которых (Меклетинский, Сарпинский, Харбинский) федерального значения; 1 природный парк (Природный парк Республики Калмыкия); 22 памятника природы, которые образуют природно-заповедный фонд республики.

Государственный природный биосферный заповедник «Черные Земли» расположен в юго-восточной части республики. Площадь заповедника составляет 121,9 тыс. га, в том числе 27,6 тыс. га занимает орнитологический участок озеро Маныч-Гудило, который является водно-болотным угольем, имеющим международное значение, охраняемым Рамсарской Конвенцией (рис. 1).



Рисунок 1 – Озеро Маныч Гудило

Территория заповедника представляет собой слабоволнистую низменную равнину, где распространены обширные массивы бугристо-рядовых песков. Почвенный покров заповедника представлен бурыми полупустынными, песчаными, супесчаными почвами в сочетании с очагами сильнодефлированных песков. В структуре природных кормовых угодий преобладают белопопынно-эркековые и белопопынно-прутняковые пастбища. Основу травостоя составляет полынь белая (*Artemisia absinthium*). Злаки представлены житняком сибирским (*Agropyrum sibiricum*) и ковылем сарептским (*Stipa sareptana*).

Это район массового пролета и остановки в период миграции водоплавающих и околоводных птиц. Он считается одним из крупнейших в Евразии районом сосредоточения мигрирующих гусей. На его островах гнездятся птицы, занесенные в Красную книгу Российской Федерации, такие как белолобый гусь (*Anser albifrons*), краснозобая казарка (*Branta ruficollis*), пискулька (*Anser erythropus*), серый гусь (*Anser anser*), розовый пеликан (*Pelecanus onocrotalus*), кудрявый пеликан (*Pelecanus crispus*), колпица (*Platalea leucorodia*), серая цапля (*Ardea cinerea*), черноголовый хохотун (*Larus ichthyaetus*), серебристая чайка (*Larus argentatus*), морской голубок (*Chroicocephalus genei*), шилоклювка (*Recurvirostra avosetta*), ходулочник (*Himantopus himantopus*), малая белая цапля (*Egretta garzetta*), каравайка (*Plegadis falcinellus*).

Озеро является реликтом, то есть остатком огромного водоёма, соединявшего в доисторические времена Каспийское море с Чёрным. Площадь озера изменчива, составляет 350 км², а в период половодья достигает 800 км². Это мелководный водоем: его наибольшая глубина – 5,5 м, длина – около 160 км, наибольшая ширина – 12 км, дно которого до гидрологических преобразований обнажалось летом на многие километры, а в сухие годы пересыхало полностью. В прошлом в озере у с. Приютное Приютненского района Калмыкии добывалась самоосадочная кристаллическая соль, залегающая слоем 5-20 см по слою черной сероводородной грязи мощностью 10-20 см.

Озера Малое Яшалтинское, Большое Яшалтинское и Джама по сумме ионов относятся к гипергалинным водоемам [2, 3]. В целом, исходя из гидрохимической классификации природных вод О.А. Алекина (1970) вода озер относится преимущественно к классу хлоридных, натриевой группы, тип второй [1]. Они представляют собой уникальный географический объект, расположенный в степной зоне республики. Их уникальность проявляется не только в гидрологическом и гидрохимическом режимах, но и в организмах, населяющих их, которые играют важную роль в формировании органических веществ лечебных илово-сульфидных грязей, обладающих высоким терапевтическим эффектом.

Озеро Большое Яшалтинское расположено в 12 км юго-восточнее пос. Яшалты Яшалтинского района Республики Калмыкия, занимает площадь около 40 км², имеет ромбовидную форму, слабый врез 0,7-1,0 м, его длина около 8 км, ширина – 5 км. Малое Яшалтинское озеро занимает площадь в 12,5 км², длина водоёма 5,5 км, ширина – 3,1 км. Котловина озер представляет собой очень мелкую, почти плоскую, чашу с непостоянным водным покровом. Глубина водоема варьирует в зависимости от сезона и напряженности метеорологических условий года. Так, в весенний период его глубина составляет 50-60 см, в летний – когда температурный режим воздуха достигает максимальных значений (32-40°C) – 10-20 см, а в засушливые годы может полностью пересыхать. Минерализация воды в озерах составляет 156-252 г/л (рис. 3).

Озеро Джама находится в 8 километрах к востоку от села Солёное Яшалтинского района Республики Калмыкия, к северу от озера Царык. Площадь водной поверхности – 5 км². Озеро питается за счет выщелачивания слагающих впадину морских отложений поверхностными и грунтовыми водами, к концу лета полностью или частично пересыхает. Минерализация воды в озере в годы исследований варьирует от 164 до 375 г/л (рис. 3).



Рисунок 3 – Соленые озера Джама и Б. Яшалтинское

Согласно физико-химическому анализу грязи гипергалинных озер являются лечебными, слабосульфидными высокоминерализованными. Согласно действующим критериям оценки лечебных минеральных вод (Минздрав России)

исследуемая рапа относится к бромным борным рассолам сульфатно-хлоридного магниевно-натриевого состава. В пересчете на гипотетические соли в рапе содержатся: галит (NaCl) – 25 г/дм³ (34,5%), мирабилит (Na_2SO_4) – 24 г/дм³ (33%), бишофит (MgCl_2) – 20 г/дм³ (27,6%), гипс (CaSO_4) – 2,7 г/дм³ (3,7%). Радионуклиды, токсичные компоненты (свинец, ртуть, нитраты, нитриты и другие) содержатся в количествах, значительно меньших предельно допустимых концентраций. Вода прозрачная, бесцветная, без осадка, с незначительным запахом сероводорода в бутылочной пробе. Санитарно-микробиологические показатели рапы отвечают нормативным требованиям [7, 11].

Вода и грязи соленых озер снижают мышечное напряжение, воспаление, боли, успокаивают и усиливают кровообращение, обладают омолаживающим эффектом. Так, грязевая маска на лице удаляет загрязнения из глубоких слоев кожи, очищает поры, снимает жир, тонизирует, повышает упругость кожи, стимулирует процессы восстановления коллагена. Разглаживаются морщины, сходят с лица угри и гнойничковые элементы. Сухой, горячий воздух, почти лишенный аллергенов, в сочетании с водой озера облегчает страдания больных псориазом, надолго снимая симптомы заболевания, порой до двух-трех лет. Заметный эффект достигается при лечении воспалительных процессов, последствий травм, нейрохирургических операций, гинекологических заболеваний и заболеваний центральной нервной системы.

Соленые озера известны целебными свойствами донных отложений, которые могут использоваться для лечебных грязевых ванн. Характер грязей с терапевтическим эффектом возник благодаря тому, что создается уникальный микроклимат, сходный с медицинскими соляными искусственными галотерапевтическими камерами (рис. 4).



Рисунок 4 – Терапия лечебными грязями

Визуально грязь представляет собой плотную массу интенсивно черного цвета, пластичную, маслянистую, однородную, с отдельными мелкими кристаллами соли, со слабым запахом сероводорода.

Физико-химические показатели грязей в весенний период и к концу лета следующие: влажность весной составляет 40,53%, к осени снижается до 38,4%, удельный вес соответственно составляет 1,66 и 1,70 г/см³, сопротивление сдвигу

стабильно выше нормы (более 4000 дин/см²). Т.е. грязь требует перед использованием добавления небольших количеств воды; засоренность минеральными частицами диаметром 0,25-5,0 мм – 0,56-4,77%, в летне-осенний период превышает норму (не более 3,0%); кроме того, в грязевой массе иногда встречаются и крупные минеральные включения (>5,0 мм), что для лечебного использования недопустимо и требует перед ее применением очистки на виброгрохоте или виброситах; теплоемкость грязи относительно мала, 0,40-0,52 кал/г. град, и указывает на то, что тепловые свойства не являются ее главным достоинством. Количество органических веществ \approx 2,0% от сухого вещества являются типичным для соленасыщенных разновидностей грязей.

Реакция среды условно нейтральная – рН = 7,7-7,8; окислительно-восстановительный потенциал отрицательный τ – 145-200 мв. Эти показатели свидетельствуют о преобладании в залежи восстановительной обстановки, благоприятной для процессов сульфатредукции и накопления в грязях сульфидов.

Содержание сульфидов железа (одного из важнейших бальнеологически ценных компонентов в грязях) составляет весной до 90 и к осени снижается (за счет окисления сероводорода) до 47 мг/на 100 г грязи, что определяет данную грязь как слабосульфидную.

Минерализация грязевого раствора колеблется в зависимости от времени года и его водности в очень большом диапазоне (213,5-230,3 г/л). Ионный состав солей при меньших концентрациях солей – сульфатно-хлоридный магниевонатриевый, при максимальных – хлоридный магниевый. Раствор богат терапевтически активными микрокомпонентами – бромом (60 мг/л) и борной кислотой (106 мг/л). Йод обнаружен лишь в виде следов (1 мг/л). Санитарно-бактериологические показатели соответствуют установленным нормам: коли-титр более 10, титр-б. перфрингенс более 0,1, общее микробное число $2,5 \times 10^2$ клеток в 1 г, патогенная микрофлора отсутствует. Хорошие бактериологические показатели грязей обусловлены, прежде всего, их высокой соленостью.

Загрязнение токсикантами – тяжелыми металлами, радионуклидами, как природными, так и техногенными также не наблюдается. Содержание этих компонентов в грязях находится в пределах их фонового содержания в почвах, что увязывается с расположением озер вдали от промышленных объектов.

При лечении грязевую массу наносят на кожу тонким споем, избегая области глаз, дают высохнуть в течение 8-10 минут, потом смывают теплой озерной водой, а уже затем чистой пресной водой. Такие процедуры применяют 2 - 3 раза в неделю. Необходимо помнить, что нахождение человека в воде Соленого озера более 15 минут не рекомендуется, из-за высокой солевой концентрации. Противопоказания к такому лечению - это общие врачебные противопоказания для каждого заболевания в отдельности.

На территории озера Большое Яшалтинское расположен гостевой дом, в котором есть все необходимое для комфортного проживания: номера с удобствами, организация питания и ежедневные поездки на соленые озера для принятия целебных грязевых ванн, купания и галотерапии.

Список использованных источников

1. Алекин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин / – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 44 с.
2. Бакташева, Н.М. Экосистема гипергалинных водоемов Калмыкии: научное издание // Н.М. Бакташева, Э.Б. Дедова, В.И. Иванова, Г.Н. Кониева - Элиста: ФГБОУ ВПО Калм-госуниверситет, 2015. – 145 с.
3. Бамбеева, В.И. Рациональное использование лечебного грязевого месторождения озера Большое Яшалтинское / В.И. Бамбеева // Мелиорация и водное хозяйство XXI века. Наука и образование: Мат. междунар. науч.-практ. конф. – Горки: Белорусская ГСХА, 2009. – С. 235-238.
4. Бородычев, В.В. Водные ресурсы Республики Калмыкия и мероприятия по совершенствованию водохозяйственного комплекса / В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов // Доклады РАСХН. – 2015. - № 4 – С. 41-45.
5. Бородычев, В.В. Экосистемный мониторинг водных ресурсов и мелиоративных объектов // В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов, А.А. Дедов/ Российская сельскохозяйственная наука. - 2017.- №3- С.56-61.
6. Дедова, Э.Б. Методические положения создания комплексного мониторинга водных ресурсов и мелиоративных систем Республики Калмыкия / Э.Б. Дедова, Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, С.Д. Исаева, М.А. Сазанов, Москва. – 2017.- 97 с.
7. Иванова, В.И. Современное состояние солёных водоёмов Калмыкии//В.И. Иванова/ Мелиорация и водное хозяйство. Проблемы и перспективы развития мелиорации и водного хозяйства: материалы науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения). / Новочерк. гос. мелиор. академия. – Новочеркасск, 2012 - с. 80-88.
8. Комплексное использование водных ресурсов Республики Калмыкия / О.В. Демкин, С.Б. Адьяев, Э.Б. Дедова, М.А. Сазанов / Монография - Элиста: ЗАОр «НПП «Джангар», 2006.- 200 с.
9. Схема территориального планирования республики Калмыкия. Раздел III. Материалы по обоснованию схемы территориального планирования. Том 1. Общие положения. ООО НПО «Южный градостроительный центр», Ростов-на-Дону, 2008.
10. Уланова, С.С. Геоинформационные системы при изучении внутренних водоемов Калмыкии // Молодежь и наука: третье тысячелетие: Мат. респ. науч.-практ. конф. – Элиста: ИКИАТ, 2004. – С. 17-25.
11. Фондовые материалы КФ ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова – Элиста, 1973-2016.
12. Цуркан, С.Я. Ресурсы минеральных вод Калмыкии / С.Я. Цуркан, Л.Е. Цуркан // Мелиорация земель Республики Калмыкия: сб. науч. тр. к 25-летию КФ ВНИИГиМ. Тр. ВНИИГиМ. – Т. 97. – М., 1997. – С. 91-97.

ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФИТОРЕМЕДИАНТОВ И ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ «САПРОСИЛ» НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАБИЛИТАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ПОЧВ

Кирейчева Л.В.¹, Ильинский А.В.², Данчеев Д.В.², Мажайский Ю.А.², Побединская Г.В.², Игнатенок В.А.²

¹ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия;

²МФ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», пос. Солотча, Россия

Загрязнение почвенного покрова поллютантами, в том числе и нефтяными углеводородами, вызывает ухудшение его природных свойств: угнетается растительность, уничтожаются микроорганизмы, снижается плодородие и т.д., что приводит к деградации и делает почву непригодной для выращивания растениеводческой продукции [1, 6, 9, 12, 14]. Одним из характерных и наиболее опасных по своим последствиям видов чрезвычайных ситуаций являются аварийные разливы нефти и нефтепродуктов, влекущие ущерб окружающей природной среде и здоровью людей, приводящие к значительным материальным и финансовым потерям, нарушению производственной деятельности предприятий и условий жизнедеятельности людей [3, 4, 5, 16]. Основным источником энергетических процессов в почве - органическое вещество (донор электронов в окислительно-восстановительных реакциях), поэтому нарушение сложившихся биологических процессов преобразования органического вещества (например, при дополнительном поступлении источников энергии – нефти и её производных) приведет к изменению всего массоэнергообмена [7, 8, 10, 17, 18]. Разложение углеводородов нефти вызывает целую серию различных реакций трансформации органических и минеральных соединений в почве, что приводит к её глубокому изменению как среды обитания живых организмов. Направление и интенсивность этих изменений окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий почвы во многом зависят от режимов почвы (температурного, воздушного, водного), а также от разнообразия и жизнеспособности гетеротрофной микрофлоры [2, 17, 18, 15].

В настоящее время проблема реабилитации и восстановления плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, загрязнённых нефтепродуктами, актуальна для нефтедобывающих, нефтеперерабатывающих и сельскохозяйственных предприятий. Весьма перспективным, имеющим большой потенциал для развития и исследования в России и странах ближнего и дальнего зарубежья, является интенсификация процесса очистки почв от нефтяных загрязнений с помощью комплексного применения растений-фитомелиорантов (фиторемедиация) и органоминеральных удобрений многоцелевого назначения на основе торфо-сапропелевой смеси (ОМУ). Практических полевых исследований в этом направлении для юга центрального Нечерноземья России до настоящего

времени проведено сравнительно немного. Исследования в области реабилитации почв земель сельскохозяйственного назначения, загрязнённых нефтепродуктами, на основе стимуляции фиторемедиации комбинированными органоминеральными удобрениями приобретают практическую значимость, как на федеральном, так и на региональном уровне.

Полевой модельный эксперимент по изучению эффективности очистки загрязнённой нефтепродуктами почвы посредством стимуляции процесса биодеструкции нефтепродуктов с помощью комплексного использования органоминерального удобрения пролонгированного действия и фиторемедиантов, заложенный в апреле 2015 года на торфяной почве, представленной перегнойно-минеральными агрозёмами, на участке мелиоративной системы «Тинки- II» ОПХ «Полково» Рязанского района Рязанской области (рис. 1), был продолжен в 2017 году.



Рисунок 1 - Общий вид опытного участка полевого опыта по очистке загрязнённой дизельным топливом торфяной почвы (мелиоративная система «Тинки II» ОПХ «Полково» Рязанского района Рязанской области, фото А.В. Ильинского, 2017 год)

Опытный участок располагается на мелиорированных землях объекта «Тинки II» бывшего ОПХ «Полково» Рязанского района Рязанской области, осушенных в 1962 году и используемых в полевом севообороте. Объект осушается закрытой сетью, уровень грунтовых вод, в среднем за вегетацию, колеблется в интервале 60 – 150 см от поверхности. Изначально почвенный покров мелиоративной системы «Тинки II» был представлен маломощными низинными торфяными почвами. За более чем полувековое использование в сельском хозяйстве почвенный покров объекта претерпел значительные изменения и к настоящему

времени он представлен сработанными торфяными почвами, которые можно отнести к отделу агроземов двух разновидностей – минерального и перегнойно-минерального.

Агрохимические и агрофизические особенности маломощных низинных торфяных почв мелиоративной системы «Тинки II» представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Особенности маломощных низинных торфяных почв [13]

Почва	Горизонт	Глубина, см	Зольность, %	Степень разложения, %	Плотность почвы, г/см ³
Торфяно-болотная маломощная	T _{пах}	0-26	28,2	36	0,35
	T ₁	25-50	25,9	33	0,33
	T ₂	50-80	23,7	30	0,29

Таблица 2 - Фоновые агрохимические свойства и содержание поллютантов в торфяной почве опытного участка мелиоративной системы «Тинки II»

Определяемый компонент	Единица измерения	Результат измерений
pH _{сол}	ед.рН	4,8
Гидролитическая кислотность	мг-экв/100г	1,53
Сумма поглощённых оснований	мг-экв/100г	10,1
Органическое вещество	%	19,5
Подвижный фосфор	мг/кг	480
Подвижный калий	мг/кг	110
<i>Тяжелые металлы, валовые формы:</i>		
- Медь	мг/кг	7,19
- Цинк	мг/кг	9,58
- Свинец	мг/кг	5,81
- Кадмий	мг/кг	0,26
Нефтепродукты	мг/кг	56,1

Почва описываемых маломощных низинных торфяников характеризуется высокой степенью разложения (30-36%) и высокой зольностью (23,7-28,2%), уменьшающейся с глубиной.

Результаты комплексных агрохимических исследований торфяной почвы показали, что на опытном участке поля почва по кислотности среднекислая, гидролитическая кислотность менее 2,0 мг-экв/100г, по сумме поглощённых оснований - средняя, содержание органического вещества 19,5%, подвижного фосфора – низкое, подвижного калия – очень низкое. Содержание исследованных поллютантов в отобранном образце почвы не превышает установленные санитарно-гигиенические нормативы и распределено следующим образом:

кадмий 0,26 мг/кг (ОДК 0,5 мг/кг); свинец от 5,81 мг/кг (ОДК 32 мг/кг); медь 7,19 мг/кг (ОДК 33 мг/кг); цинк 9,58 мг/кг (ОДК 55 мг/кг); нефтепродукты 56,1 мг/кг (допустимый уровень 1000 мг/кг).

При закладке полевого опыта выполнено искусственное загрязнение почвы нефтепродуктами из расчёта 2,5% по массе, путём внесения в опытные деланки дизельного топлива ЕВРО сорт Е, вид Ш. Варианты закладки и проведения модельного микрополевого опыта: 1. чистая почва (фон); 2. почва с содержанием дизельного топлива 2,5% (контроль); 3. почва с содержанием дизельного топлива 2,5% + органоминеральное удобрение 2,5 т/га; 4. почва с содержанием дизельного топлива 2,5% + органоминеральное удобрение 5,0 т/га; 5. почва с содержанием дизельного топлива 2,5% + органоминеральное удобрение 10,0 т/га. Эксперимент был заложен на деланках площадью 1,0 м² и промежутками между деланками 1,0 м, с рендомизированным размещением вариантов, повторность опыта трёхкратная. На предварительно продискованный участок поля дизельное топливо было равномерно внесено вручную и распределено в пахотном горизонте почвы каждой деланки. Через десять дней после загрязнения почвы дизельным топливом были проведены поверхностное внесение органоминерального удобрения в обозначенных выше дозах и последующая заделка мелиоранта в почву, еще через неделю был проведён посев толерантных к загрязнению сельскохозяйственных культур с учетом рекомендаций, изложенных в РД 39-0147103-365-86. В качестве фиторемедиантов изначально были использованы однолетние травы горохо-овсяная смесь): овёс -180 кг/га, горох – 120 кг/га с подсевом многолетних трав (бобово-злаковая травосмесь): клевер красный - 20 кг/га, кострец безостый - 35 кг/га, тимофеевка луговая - 25 кг/га. В 2017 году эксперимент проводился на многолетних травах. Агротехника выращивания культур общепринятая для региона. В конце вегетационного периода второго года эксперимента из пахотного слоя почвы (0–20 см) по деланкам вариантов полевого опыта в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01–83, ГОСТ 17.4.4.02–84, Методические указания по агрохимическому обследованию почв сельскохозяйственных угодий, 1982 был произведён отбор 15-ти почвенных образцов в соответствии со схемой закладки опыта и с соблюдением нумерации деланок опыта для дальнейшего определения остаточного содержания нефтепродуктов методом ИК-спектрометрии (ПНДФ 16.1:2.2.22-98) и оценки эффективности очистки загрязненных нефтепродуктами почв земель сельскохозяйственного назначения. По завершении полевого опыта был проведён лабораторный эксперимент по оценке фитотоксичности почвы на семенах редиса. Редис - быстрорастущая культура, проростки которой чутко реагируют на изменяющиеся условия, поэтому информацию о токсичности почвы можно получить через несколько суток. В лабораторном эксперименте в качестве тестовой культуры был использован редис сорта «Розово-красный с белым кончиком» производства ООО «Агрофирма АЭЛИТА». При обработке опытных данных использовали методику математической статистики, изложенную в работах Б.А. Доспехова, 1979, 1985.

Результаты определения остаточного содержания нефтепродуктов в реабилитируемой почве в конце вегетационного периода третьего года исследований представлены на рисунке 2.

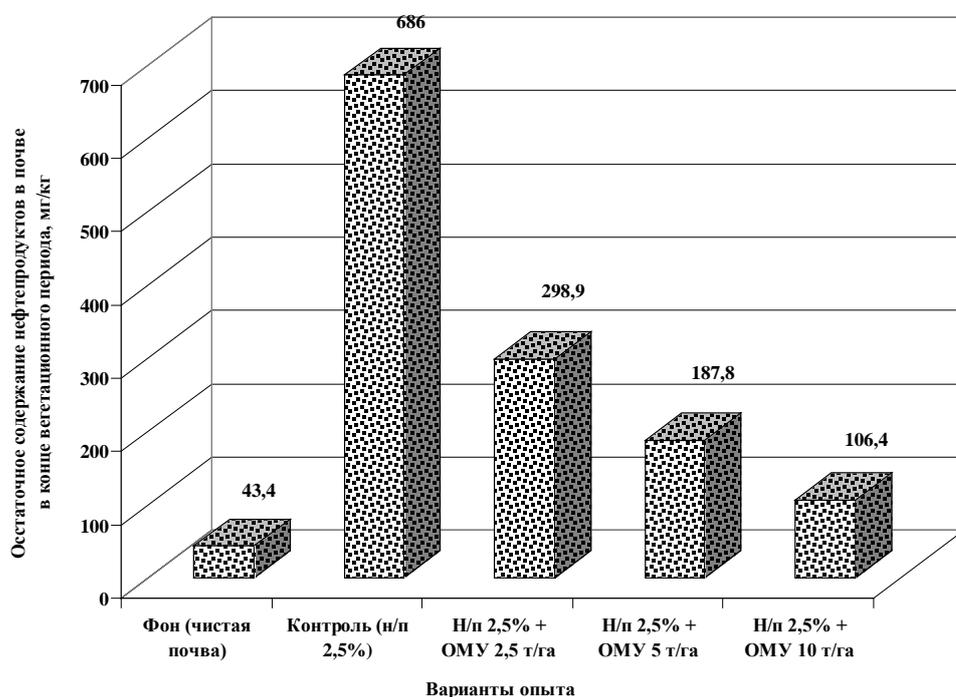


Рисунок 2 - Остаточное содержание нефтепродуктов торфяной почве при комплексном применении фиторемедиации и ОМУ «Сапросил»

Исследования показали, что последствие от внесение ОМУ в дозах 2,5 – 10, 0 т/га в загрязнённую дизельным топливом почву проявилось в усилении деструкции поллютанта: отклонение от контроля варьирует от 56,4% до 84,5%. На варианте с внесением 2,5 т/га ОМУ остаточное содержание нефтепродуктов в почве – 298,9 мг/кг (отклонение от контроля - 56,4%), что составило 1,2% от исходного уровня загрязнённости. Увеличение дозы внесения ОМУ оказало положительное влияние на усиление деструкции нефтепродуктов в почве. Так, уже при внесении в почву 5,0 т/га ОМУ остаточное содержание нефтепродуктов в почве – 187,8 мг/кг (отклонение от контроля – 75,6%), что составило 0,8% от исходного уровня загрязнённости. Наибольшая деструкция поллютанта зафиксирована на варианте с дозой внесения органо-минерального удобрения 10 т/га, остаточное содержание нефтепродуктов в почве – 106,4 мг/кг (отклонение от контроля составило уже 84,5%), что составило 0,4% от исходного уровня загрязнённости. Применение только фитомелиорантов, без использования ОМУ, для биологической очистки загрязнённой торфяной почвы оказалось недостаточным, поскольку на данном варианте наблюдается наибольшая загрязнённость почвы нефтепродуктами в концентрации 686,0 мг/кг почвы.

При реабилитации загрязнённых поллютантами почв земель сельскохозяйственного назначения необходимо оценивать урожайность и качество растений, поскольку восстановление плодородия таких почв и создание благоприятных

условий для выращивания экологически безопасной растениеводческой продукции являются одними из приоритетных задач мелиорации [11, 19].

Результаты учёта урожая многолетних трав при реабилитации загрязнённой нефтепродуктами почвы посредством комплексного применения комбинированного органоминерального удобрения и фиторемедиантов представлены в таблице 3 и на диаграмме (рис. 3).

Таблица 3 - Влияние применения ОМУ при реабилитации загрязнённой дизельным топливом торфяной почвы на урожайность многолетних трав, 2017 год

Вариант опыта	Урожайность мн. трав (клевер кр.+кострец безост.+тимOFFеевка) сено (I укос), т/га			Урожайность мн. трав (клевер кр.+кострец безост.+тимOFFеевка) сено (II укос), т/га			Всего, т/га	Изменение	
	Среднее	Изменение		Среднее	Изменение			т/га	%
		т/га	%		т/га	%			
фон (чистая почва)	3,59	0,64	22	3,11	1,01	48	6,7	1,65	33
контроль (н/п 2,5%)	2,95	-	-	2,10	-	-	5,05	-	-
н/п 2,5% + 2,5 т/га ОМУ	4,90	1,95	66	3,49	1,39	66	8,39	3,34	40
н/п 2,5% + 5,0 т/га ОМУ	5,75	2,8	95	4,26	2,16	103	10,01	4,96	98
н/п 2,5% + 10,0 т/га ОМУ	6,78	3,83	130	5,53	3,43	163	12,31	7,26	144
НСР ₀₅ , т/га	0,26			0,09					

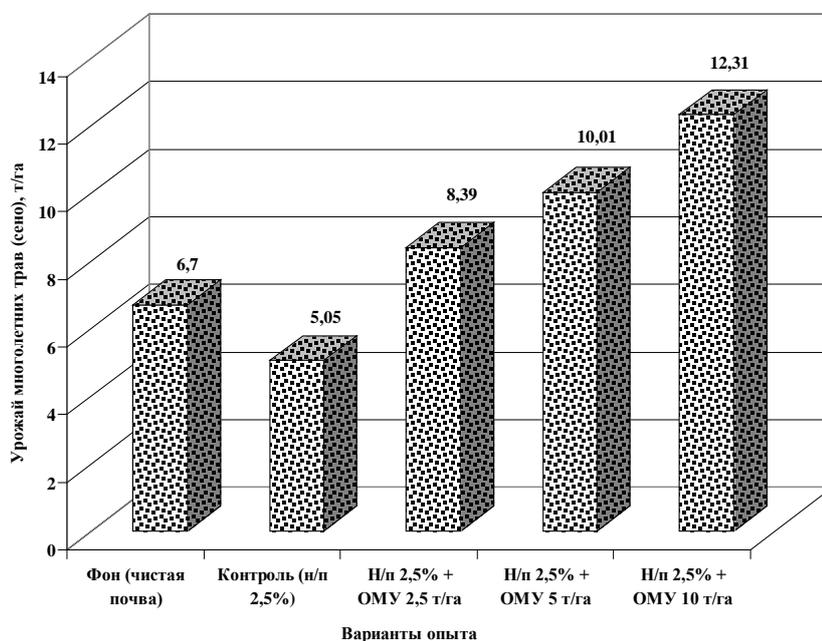


Рисунок 3 - Сравнительная оценка урожая многолетних трав (сено) при использовании органоминерального удобрения в комплексном приёме ремедиации загрязнённой нефтепродуктами торфяной почвы

Анализ данных, представленных в таблице 3 и на рисунке 3, показал, что во второй год последствий на контрольном варианте по-прежнему, наблюдается угнетающее действие поллютанта на урожайность многолетних трав: урожай сена за два укоса составил только 5,05 т/га, против 6,7 т/га на незагрязнённой почве (фон). На вариантах с внесением органо-минерального удобрения в загрязнённую дизельным топливом почву наблюдается увеличение урожая сена многолетних трав по сравнению с контрольным вариантом на 40 – 144% в зависимости от дозы внесения ОМУ. Увеличение дозы внесения в почву ОМУ оказало положительный эффект на прибавку урожая сена многолетних трав. Наибольший урожай за два укоса отмечен при дозе внесения органо-минерального удобрения 10 т/га и составил 12,31 т/га. При внесении ОМУ в дозе 5 т/га в загрязнённую нефтепродуктами почву во второй год последствий урожай сена многолетних трав за два укоса превысил урожай, полученный на незагрязнённой почве на 3,31 т/га.

Оценка остаточной фитотоксичности реабилитируемой торфяной почвы представлена в таблице 4.

Таблица 4 - Результаты определения остаточной фитотоксичности торфяной почвы при проведении реабилитационных мероприятий

№ №	Варианты	Всхожесть семян редиса, шт.			Отклонение от контроля		Средняя длина проростка, см	Отклонение от контроля	
		повторность		среднее	шт.	%		см	%
		1	2						
1.	исходная почва (контроль)	20	19	19,5	-	-	3,4	-	-
2.	без мелиоранта (н/п 2,5%)	17	16	16,5	-3,0	-15,4	1,5	-1,9	-55,9
3.	н/п 2,5% + 2,5 т/га ОМУ	18	18	18,0	-1,5	-7,7	2,6	-0,8	-23,5
4.	н/п 2,5% + 5,0 т/га ОМУ	19	20	19,5	0	0	5,2	1,8	52,9
5.	н/п 2,5% + 10 т/га ОМУ	20	20	20,0	0,5	2,6	6,1	2,7	79,4
НСР ₀₅		0,74							

Анализ данных показал, что комплексное применение комбинированного органо-минерального удобрения в дозах 2,5-10,0 т/га и фиторемедиантов оказало благоприятное влияние на всхожесть и развитие семян редиса за счет усиления деструкции нефтепродуктов в почве и внесения дополнительных элементов питания растений в составе ОМУ. Наилучший результат был получен на варианте 5, с использованием ОМУ в дозе 10,0 т/га, прибавка к контрольному варианту составила 2,6% по всхожести семян и 79,4% по длине проростков редиса. Результаты лабораторного эксперимента также показали, что наибольшая фитотоксичность почвы зафиксирована на варианте 2, без использования комплексного ОМУ, отставание от контрольного варианта составило 15,4% по всхожести семян и 55,9% по длине проростков редиса.

Таким образом, особенностью реабилитации от нефтепродуктов почв с помощью предлагаемого приёма является результат комплексного

взаимодействия составляющих нового многокомпонентного удобрения «Сапросил» с фитомелиорантами, обеспечивающий более высокую эффективность очистки почв. Применение ОМУ в дозах 5 – 10 т/га способствует реабилитации загрязнённой почвы и является положительным моментом в решении экологических задач по её возврату в оборот земель сельскохозяйственного назначения. На основе результатов экспериментальных исследований разработана современная технология очистки от нефтепродуктов почв земель сельскохозяйственного назначения суть которой заключается в ускорении процесса деструкции поллютанта с помощью комплексного применения комбинированного органоминерального удобрения многоцелевого назначения «Сапросил» и фиторемедиантов. Технология позволяет не только значительно ускорить очистку почвы от нефтепродуктов, нейтрализовать их негативное влияние на почвенный покров и предотвратить химическую деградацию почв, но и также восстановить почвенное плодородие, получать высокие урожаи качественной и экологически безопасной растениеводческой продукции на очищаемых землях.

Список использованных источников

1. Давыдова С.Л. Загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами: учебное пособие для вузов / С.Л. Давыдова, В.И. Тагасов. - М.: изд-во РУДН, 2006. – 156 с.
2. Ильинский А.В. Биоремедиация загрязнённых нефтепродуктами почв при помощи карбонатного сапропеля и биопрепарата «Нафтокс» / А.В. Ильинский, Л.В. Кирейчева, Д.В. Виноградов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 2 (30). – С. 28–35.
3. Ильинский, А.В. К вопросу повышения эффективности проведения работ по реабилитации техногенно загрязнённых земель с помощью внедрения современной системы комплексного контроля / А.В. Ильинский, Д.В. Виноградов // АгроЭкоИнфо. – 2016, № 3. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2016/3/st_320.doc.
4. Ильинский А.В. Обоснование биологической очистки земель, загрязнённых продуктами переработки нефти / А.В. Ильинский, С.В. Перегудов // Комплексные мелиорации – средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель. Материалы юбилейной международной научной конференции. – М.: Изд. ВНИИА, 2014. – С. 69–74.
5. Ильинский А.В. О возможности использования биологической очистки почвогрунта, загрязнённого нефтепродуктами, применительно к условиям природовосстановительных работ крупного нефтеперерабатывающего предприятия / А.В. Ильинский, Л.В. Кирейчева, С.В. Перегудов // Перспективы и проблемы размещения отходов производства и потребления в агроэкосистемах: Матер. межд. Науч.-практ. Конф. / НГСХА. – Н.Новгород: НИУ РАНХиГС, 2014. – С. 160–164.
6. Ильинский А.В. Экологические основы природопользования: учебное пособие / А.В. Ильинский, Д.В. Виноградов, Д.В. Данчеев // Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2017. – 128 с.
7. Кирейчева Л.В. Восстановление энергетической функции деградированных почв / Л.В. Кирейчева // Агрехимикаты в XXI веке: теория и практика применения Материалы международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 239-242.
8. Кирейчева, Л.В. Исследования пролонгированного действия органо-минерального удобрения «Сапросил» и его влияние на урожай овса / Л.В. Кирейчева, В.М. Яшин, А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова К.Н. Евсенкин // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования. II Международная научно-практическая Интернет-конференция / Составление Н.А. Щербакова /ФГБНУ

«Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия». – с. Соленое Займище. – 2017. – С. 1070-1075.

9. Кирейчева Л.В. К вопросу фиторемедиации почв, загрязнённых комплексом тяжёлых металлов / Л.В. Кирейчева, А.В. Ильинский, В.М. Яшин и др. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2016. – № 4. – С. 8 – 13.

10. Кирейчева Л.В. Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России. Под научной редакцией д.т.н., профессора Кирейчевой Л.В. // Л.В. Кирейчева, И.Ф. Юрченко, В.М. Яшин. – М.: ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2017. – 296 с.

11. Кирейчева Л.В. Санация и восстановление плодородия техногенно загрязнённых почв / Л.В. Кирейчева, В.М. Яшин, А.В. Ильинский // Агрохимический вестник. – 2008. – № 5. – С. 8–10.

12. Коломийцев Н.В. Загрязнение тяжёлыми металлами и мышьяком донных отложений Ивановского водохранилища / Н.В. Коломийцев, Б.И. Корженевский, Т.А. Ильина // Вода: химия и экология. – 2017. – № 2. – С. 20–28.

13. Курчевский С.М. Повышение плодородия почв Мещерской низменности под воздействием структурных мелиораций: диссертация кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.01 – Общее земледелие, растениеводство, 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель / С.М. Курчевский. // РГАТУ им. П.А. Костычева. – Рязань, 2014. – 177 с.

14. Методические рекомендации по мероприятиям для предотвращения и ликвидации загрязнения агроландшафтов тяжёлыми металлами. – М., 2005. – 71 с.

15. Орлов Д.С. Химическое загрязнение почв и их охрана / Д.С. Орлов, М.С. Малинина, Г.В. Мотузова и др. – М., 1991. – 303 с.

16. Орлов Д.С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И.Н. Лозановская // Учебное пособие для химических, химико-технологических и биологических спец. вузов. – М.: Высшая школа, 2002. – 234 с.

17. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде / Ю.И. Пиковский. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 208 с.

18. Практика рекультивации загрязнённых земель / Под ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. – 604 с.

19. Практика рекультивации загрязнённых и нарушенных земель / Под ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2013. – 452 с.

УДК 631.6, 631.95

СИСТЕМА МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОСИСТЕМНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Исаева С.Д.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Необходимость решения проблем, накопившихся в водохозяйственном секторе экономики, нормализация ситуации в обеспечении сельскохозяйственного населения, производства, орошения и обводнения земель водой нормативного качества в необходимых объёмах и соблюдение охраны природной среды определяют актуальность постановки вопроса о постепенном переходе на экосистемное водопользование, как определено Водной стратегией агропромышленного комплекса на период до 2020 года. Такой переход предполагает создание определенных условий в водном хозяйстве за счет реализации комплекса методов обеспечения экосистемного водопользования. Разнообразие методов опреде-

ляет необходимость выработки принципов и проведения на их основе систематизации, которая впоследствии станет основой для определения систем практических мероприятий по реализации экосистемного водопользования применительно к разным природно-хозяйственной обстановки с учетом новых социально-экономических условий.

Эффективное использование водных ресурсов, в том числе и в сельском хозяйственном секторе экономики, затруднено рядом существующих проблем, определяющих состояние водного хозяйства страны. Основные проблемы, как известно следующие. Во-первых – экологические. Это неравномерное распределение поверхностных и подземных водных ресурсов не согласуется с реальной потребностью в пресной воде регионов. Так по величине местных водных ресурсов Южный и Дальневосточный ФО различаются в 30 раз, по водообеспеченности на душу населения – в 100 раз. Широко развито загрязнение поверхностных вод: несмотря на сокращение объемов сброса неочищенных сточных вод с 1990-х гг. по-прежнему большая часть рек относятся по оценке экологического состояния к категориям «загрязненные» и «сильно загрязненные»; широко развиты на территории страны зоны аномального химического состава подземных вод, что связано с составом водовмещающих пород и процессами ионного обмена в системе "вода-порода". Значителен дефицит водных ресурсов в ряде регионов России, что связано с недостаточными объемами местных водных ресурсов и несоответствием их качества требованиям к питьевым водам. И, несомненно, возникающее негативное воздействие вод на окружающую среду.

Экономические проблемы, осложняющие рациональное использование водных ресурсов - межведомственная разобщенность основных производственных водохозяйственных фондов и управления принципиально единой водохозяйственной системы страны. Сюда же относится несовершенство экономических механизмов управления водохозяйственным комплексом страны, регулирования водопользованием, стимулирования водосбережения и охраны вод, а также недостатки в текущей налоговой политике и оторванность получаемых от водопользователей средств от вложений в водохозяйственный комплекс, слабая инвестиционная привлекательность водохозяйственного комплекса.

К техническим проблемам относятся износ и старение основных производственных фондов, включая основные фонды по охране и рациональному использованию водных ресурсов: общая степень их износа практически (статистика отсутствует), но по оценкам составляет порядка 50%. Водохозяйственный комплекс характеризуется несовершенством водохозяйственных систем, особенно мелиоративных систем, непроизводительными потерями и расходами воды, несовершенством технологии водосбережения, водоподготовки, очистки и регулирования качества воды в подсистемах водопотребления и водоотведения, отсутствием системы учета количества и качества потребляемой и отводимой воды. Технический уровень водохозяйственного комплекса во всех сферах экономики не отвечает современным требованиям, а проводимые мероприятия по строи-

тельству, восстановлению и реконструкции гидротехнических сооружений, мелиоративных систем не носят системного характера и не оправдывают социально-экономические надежды.

Необходимость нормализации ситуации в водном хозяйстве и постепенный переход на экосистемное водопользование, как определено Водной стратегией агропромышленного комплекса на период до 2020 года [1] не вызывает сомнений.

Под экосистемным водопользованием в сельском хозяйстве понимается рациональное и экономически эффективное использование водных ресурсов с соблюдением экологических ограничений на их изъятие, доставку потребителю, распределение и сбросы в целях снижения и предотвращения возможных экологических рисков и обеспечения экологической устойчивости речных бассейнов к водохозяйственному и мелиоративному воздействию.

Цель реализации экосистемного водопользования заключается в обеспечении сельского населения питьевой водой нормативного качества, в повышении водообеспеченности регионов для питьевого, хозяйственно-бытового водоснабжения, орошения и обводнения земель с учетом климатических изменений, в снижении и предотвращении загрязнения и истощения водных ресурсов. Переход на экосистемное водопользование является одним из определяющих условий экономического и социального развития регионов, рентабельности и стабильного (поступательного) развития сельскохозяйственного производства, сохранения устойчивости природной среды к водохозяйственному воздействию.

Осуществление экосистемного водопользования требует проведения определенных мероприятий, направленных на гарантированное обеспечение сельского населения питьевой водой нормативного качества, повышение эффективности использования водных ресурсов в сельскохозяйственном водоснабжении, в том числе подземных вод, восстановление и развитие орошения и осушения земель, водосбережение и снижение непроизводительных потерь воды, на предотвращение негативного воздействия вод, загрязнения водных объектов и др. [2-5]. Проведение мероприятий и переход на экосистемное водопользование предполагает создание необходимых условий в водном хозяйстве и способов (методов) обеспечения их реализации и достижения поставленной цели - экосистемного водопользования. Разнообразие методов определяет необходимость проведения их систематизации, которая может быть выполнена на основе предлагаемых принципов:

-системности – разработанный комплекс методов является системой с определенной структурой, в которой компоненты представляют собой самостоятельные подсистемы, обладающие внутренними и внешними взаимосвязями и целостностью, а реализация их функций в совокупности обеспечивает целостность и результативность системы методов обеспечения экосистемного водопользования, снижающей возникновение экологических рисков;

-целостности – совокупность методов экосистемного водопользования в сельском хозяйстве является подсистемой комплекса методов обеспечения рационального использования и охраны водных ресурсов РФ;

-иерархичности - каждый элемент системы представляет собой самостоятельную целостную систему, взаимодействие которой с другими выделенными подсистемами определяет совокупную эффективность способов достижения поставленной цели- обеспечение экосистемного водопользования;

-последовательности – процесс обеспечения экосистемного водопользования должен осуществляться последовательно и неуклонно на всех этапах технологического процесса;

-социально-экономической направленности разрабатываемой системы - предполагает решение социальных проблем сельского населения, связанных с обеспечением водными ресурсами, их охраной от истощения, создание условий для обеспечения продовольственной безопасности государства и рентабельности сельского хозяйства за счет реализации экосистемного водопользования;

-обязательности экологических ограничений на водохозяйственную и мелиоративную деятельность в целях охраны водных и земельных ресурсов от деградации, обеспечения плодородия почв и сохранения экологической устойчивости природной среды к данным техногенным воздействиям.

На основе системного подхода с учетом сформулированных принципов множество методов обеспечения экосистемного водопользования в сельском хозяйстве можно представить, как систему, состоящую из подсистем методов управления, организационных, правовых, информационных, научно-методических, инженерно-технических.

В подсистему управления входят методы анализа и планирования водохозяйственной деятельности, принятие решений и руководство их выполнением, обеспечение и целенаправленное использование ресурсов, подготовка необходимых нормативно-правовых документов, организация работы отрасли, контроль реализации принятых решений, анализ и регулирование сложившейся ситуации.

Задача управления водным хозяйством осложнена многообразием природных свойств водных ресурсов и, как следствие, многоцелевым характером их использования. Эти особенности обуславливаются наличием множества субъектов права пользования подземными и поверхностными водами, интересы которых могут не совпадать, а подчас и противоречить друг другу. В настоящее время в регулировании вопросов изучения, охраны и использования водных ресурсов в Российской Федерации принимает участие большое количество федеральных ведомств, среди которых не определено одно головное, координирующее все вопросы для подземных вод. Из-за различной ведомственной подчиненности существующая система управления не решает всех стоящих перед ней задач. Представляется, что совершенствование системы методов управления водными ресурсами целесообразно начать с объединения функций по управлению водным хозяйством Российской Федерации в рамках одной структуры. Предложение об объединении управления в едином органе прозвучало на совместном расширенном заседании секций «Охрана и использование водных ресурсов» и «Охрана и использование природных ресурсов при пользовании недрами» Высшего экологического совета Комитета Государственной Думы по природным ресурсам,

природопользованию и экологии на тему «Законодательное обеспечение охраны и использования подземных вод» 20.03.2014 г.

Концентрация управления должно обеспечить интеграцию основных производственных водохозяйственных фондов для реализации системного управления единым водным хозяйством страны, определение актуальных направлений развития и количественных показателей деятельности отрасли, планирование и разработку стратегии развития водного хозяйства страны, проведение прогрессивной научно-технической, инновационной политики для обеспечения эффективности и рентабельности водного хозяйства, ускорения его развития и др. При этом необходимо усиление структуры управления на региональном и муниципальном уровне, усиление роли бассейновых водных управлений и придание им функций, в том числе государственного заказчика по проектам водохозяйственного строительства и текущих мероприятий. Возрастает роль системы экологического мониторинга как информационной основы для оценки ситуации и обоснования принятия решений по развитию водохозяйственных систем, использованию водных объектов. Эффективность управления предполагает усиление контрольных функций, а именно, контроля за исполнением принятых решений; формирование системы надзора и проверок объектов на их соответствие регламентированным требованиям рационального, экологически безопасного, эффективного водопользования, безопасности ГТС и др, осуществляемых специально предусмотренными органами; контроля лимитов водопотребления.

В подсистему организационных методов обеспечения экосистемного водопользования входят методы, позволяющие упорядочить взаимодействие элементов системы обеспечения экосистемного водопользования, включая реализацию управления, организацию и обеспечение ресурсами (финансовыми, материальными, технологическими, информационными) всех направлений экосистемного водопользования

Подсистема организационных методов -реализует управление объединенными производственными водохозяйственными фондами и водохозяйственной системой страны, методы управления и обеспечения необходимыми научно-техническими, финансовыми, кадровыми и др. ресурсами комплексное использование водных ресурсов в соответствии с задачами Стратегии развития водохозяйственного комплекса, Генеральной схемой комплексного использования и охраны водных ресурсов, СКИОВО и Федеральными целевыми программами. Организационные методы обеспечивают экономические механизмы управления водохозяйственным комплексом и регулирования водопользованием, финансовое обеспечение потребностей отрасли, организации и оплаты труда, проведение кадровой политики, направленной на комплектование органов управления и реализации мероприятий в сфере водного хозяйства профильными специалистами; обеспечивает подготовку кадров в средних и высших учебных заведениях и др. Подсистема обеспечивает методы надзора и проверок объектов на их соответствие регламентированным требованиям рационального, экологически безопасного, эффективного водопользования, безопасности ГТС и др, осуществляемых

специально предусмотренными органами, контроль лимитов водопотребления и другие меры.

Подсистема правовых методов – это комплекс правовых, гарантируемых государством, средств воздействия на все элементы управления водопользованием, их связи и взаимоотношения, которые позволяют достичь поставленной цели. Для реализации экосистемного водопользования в правовые методы включены целенаправленное совершенствование Федеральных законов и подзаконных актов, регулирующих недро-, земле- и водопользование и водные отношения, ведение мелиорации земель; соответствующая корректировка и принятие стратегии развития водохозяйственного комплекса РФ до 2025 года и на период до 2030 года; законодательное обеспечение и преодоление обезличивания выплат при их поступлении в бюджет и переход на их адресную направленность в водное хозяйство, привлечение инвестиций. Представляется важным изменение принципов формирования Федеральных целевых программ и переход на системный подход при определении целей, задач, объектов и целевых показателей, что в том числе позволит перейти на итеративные принципы в формировании жизненного цикла федеральных целевых программ, когда результат полной их реализации содержит всю требуемую функциональность водохозяйственной системы, мелиорации земель и др.

Методы информационного обеспечения представляют подсистему, определяющую эффективность тактического управления и организации экосистемного водопользования и долгосрочного планирования и построения стратегии развития водного хозяйства (сельскохозяйственного водоснабжения). Методы включают применение совокупности законодательных актов, адаптацию и совершенствование организационно-технических, нормативных, методических, программных документов, совершенствование системы паспортизации мелиоративных систем, гидротехнических сооружений, Государственного экологического мониторинга на основе развития системы наблюдений, междисциплинарного подхода к планированию, проведению наблюдений и интерпретации получаемых результатов, ускорения процесса оснащения системы геоинформационными технологиями.

Методы научно-методического обеспечения – это методы обеспечения экосистемного водопользования документами, определяющими организационную и функциональную структуру системы, основные принципы и направления ее развития, а также комплекс нормативно-технических и методических документов, обеспечивающих совместимость и взаимодействие подсистем и эффективность их целостного функционирования. К этой группе можно отнести совершенствование принципов и обоснование стратегии развития водного хозяйства на средне- и долгосрочную перспективу, интегральное научное обоснование потребностей в водных ресурсах в регионах России, прежде всего, испытывающих водный дефицит, с учетом их социально-экономического развития, глобальных изменений климата на перспективу до 2050г. и далее, и с преференцией хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также научное обоснование управления

водными ресурсами, региональное обоснование способов повышения водообеспеченности в условиях климатических изменений. Обеспечение рационального и эффективного использования водных ресурсов должно проводиться с междисциплинарной оценкой экологических, социальных, экономических последствий проводимых комплексных водохозяйственных мероприятий, в том числе получаемых выгод, а также возможных рисков и ущербов при интенсификации использования водных ресурсов. Необходимо привлечение научной общественности на всех этапах определения путей решения водных проблем, управления, использования и охраны водных ресурсов и сопряженных экологических, социальных задач.

Методы инженерно-технического обеспечения – система способов обоснования, планирования и реализации технических и технологических мероприятий, направленных на обеспечение экосистемного водопользования в сельском хозяйстве. Методы включают планирование, управление и обеспечение инновационными технологиями и оборудованием водообеспечения, водоотведения, водоочистки, водоподготовки, орошения, обводнения, вододеления и пр.; обоснование и проведение реконструкции, восстановления мелиоративных систем на основе современных методов изысканий, проектирования и строительства; автоматизацию наблюдений, измерений показателей и параметров мелиоративных систем и мелиорированных земель, обеспечение программными продуктами для реализации прогнозных расчетов, ГИС-инструментарием для получения, обработки, хранения, передачи и анализа данных мониторинга; внедрение дистанционных методов наблюдений при экологическом мониторинге мелиорированных земель и водных объектов, а также для дистанционного управления мелиоративными системами и пр.

Таким образом, переход на экосистемное водопользование в том числе и в сельском хозяйстве предполагает реализацию предлагаемой системы обеспечения, включающей методы управления, организационные, правовые, информационные, научно-методические, инженерно-технические. В основные функции множества методов обеспечения экосистемного водопользования входит научно обоснованный анализ и планирование деятельности, принятие решений и руководство их выполнением, обеспечение и целенаправленное использование ресурсов, подготовка необходимых нормативно-правовых документов, организация работы отрасли, контроль за реализацией принятых решений, анализ и регулирование сложившейся ситуации. Разработанные принципы и система методов направлена на обеспечение сельского населения питьевой водой нормативного качества, повышение водообеспеченности регионов в условиях развивающихся климатических изменений, повышения эффективности управления и использования водных ресурсов в сельском хозяйстве при сохранении устойчивости природных систем к мелиоративному и водохозяйственному воздействию.

Список использованных источников

1. Водная стратегия агропромышленного комплекса России на период до 2020 года – М.: Изд.ВНИИА, 2009. – 72 с
2. Кизяев Б.М., Исаева С.Д. Рациональное использование водных ресурсов в АПК в условиях глобальных климатических изменений. // В сб. Тр. Международной научно-практической конференции Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования». Т.2. Волгоград: волгау, 2017
3. Исаева С.Д. Обеспечение экосистемного водопользования в сельском хозяйстве // Сб. Материалов XIV Международной научно-практического симпозиума. - г. Екатеринбург: 2017г.
4. Исаева С.Д. Методические основы ведения мониторинга мелиорированных земель. // Сб. Материалов Международной научно-практической конференции «Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК», приуроченной к «Году экологии в Российской Федерации» и 130-летию со дня рождения А.Н. Костякова 5-6 октября 2017 г.
5. Исаева. С.Д., Кизяев Б.М. Научное обеспечение управления водными ресурсами // «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение». – 2017.

УДК 631.87

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ НА ОСНОВЕ ВНЕСЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ «САПРОСИЛ»

Нефедов А.В.¹, Кирейчева Л.В.², Евсенкин К.Н.¹, Иванникова Н.А.¹, Яшин В.М.²

¹ МФ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Рязань, Россия

² ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В условиях недостатка традиционных органических удобрений дешевым исходным сырьем природного происхождения для приготовления органоминеральных удобрений в нашей стране могут служить значительные запасы торфа и сапропелей. Характерная особенность сапропелей – постепенная и длительная минерализация гумуса, что делает удобрения (мелиорант) на его основе пролонгированным, оказывающим влияние на почвенное плодородие до 10-12 лет после внесения. Удобрительно-мелиорирующие смеси, совмещающие достоинства минеральных и органических удобрений, содержащие в своем составе кроме основных макроэлементов - азота, фосфора, калия и микроэлементы, гуминовые и биологически активные вещества, оказывают многогранное влияние на плодородие почвы, рост и развитие растений.

В статье установлено, что применение нового органоминерального удобрения на основе сапропеля, повышает плодородие сработанных торфяных почв с увеличением продуктивности сельскохозяйственных культур.

Данный комбинированный мелиорант является продуктом пролонгированного действия и его можно рекомендовать при восстановлении деградированных торфяных почв, а также к использованию в проектах реабилитационных мероприятий по ликвидации техногенной загрязнённости территорий и для восстановления продуктивности почв при рекультивации нарушенных земель.

Ключевые слова: ДЕГРАДИРОВАННЫЕ ТОРФЯНЫЕ ПОЧВЫ, САПРОПЕЛЬ, ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЕ УДОБРЕНИЕ, ТОРФ, ПРОЛОНГИРОВАННОЕ ДЕЙСТВИЕ, УРОЖАЙНОСТЬ, ОВЕС.

Введение

Осушенные ранее массивы с торфяно-болотными и дерново-подзолистыми почвами после уменьшения капиталовложений на их эксплуатацию значительно понизили свое плодородие, вследствие минерализации органического вещества. [6, 9, 15, 18].

Повышение плодородия почвы при снижении запасов гумуса связано с ликвидацией причин и последствий деградации и восстановление их исходного вещественно-энергетического состояния [7, 10, 19]. Поэтому очень важно использовать все резервы для воспроизводства органического вещества почвы. Потенциальные ресурсы органического сырья: органические удобрения с животноводческих предприятий (навоз), органические удобрения растительного происхождения – солома, сидераты; органогенные ископаемые – торф, сапрпель; отходы промышленности и коммунального хозяйства [4, 14, 17].

Установлено, что солома усиливает иммобилизацию азота из почвы, в результате чего почвенная микрофлора «забирает» недостающий для себя азот из гумуса, тем самым, вызывая процесс его деградации [4, 13]. Использование торфа более экологично, но менее эффективно, так как требуется больше времени на его минерализацию, а при высоких дозах внесения может привести к повышению кислотности почвы [1, 13].

Органические удобрения животноводческих предприятий, представленные навозом КРС, овечьим, конским, свиным, птичьим пометом могут содержать патогенные микроорганизмы, семена сорных трав. На крупных специализированных животноводческих комплексах практикуется содержание скота без подстилки. Внесение бесподстилочного навоза и куриного помета оказывает незначительное положительное действие на восполнение убыли запасов гумуса. Так как при избытке азота и одновременно при недостатке углерода микрофлора почвы после разложения легкодоступных источников углерода (органическое вещество навоза, корневых и пожнивных остатков и т. п.) начинает активно минерализовать углерод почвы путем его изъятия из структуры гумуса, что приводит к активизации разрушения гумуса [3, 4]. Представляется, что перспективным удобрением, для повышения плодородия могут стать комплексные органоминеральные смеси, созданные на основе различного органического сырья и обогащенные минеральной компонентой [5, 7, 11, 12].

В условиях недостатка традиционных органических удобрений дешевым исходным сырьем природного происхождения для приготовления органо-минеральных удобрений в нашей стране могут служить значительные запасы торфа и сапрпелей. [2, 8]. Характерная особенность сапрпелей – постепенная и длительная минерализация гумуса, что делает удобрения (мелиорант) на его основе пролонгированным, оказывающим влияние на почвенное плодородие до 10-12

лет после внесения [8]. Удобрительные смеси, совмещающие достоинства минеральных и органических удобрений, содержащие в своем составе кроме основных макроэлементов - азота, фосфора и калия микроэлементы, гуминовые и биологически активные вещества, оказывают многогранное влияние на плодородие почвы, рост и развитие растений и применяются также при реабилитации техногенно загрязнённых земель [5, 9, 17, 19].

Целью исследования является изучение восстановления плодородия сработанных торфяных почв путем внесения многокомпонентного органоминерального удобрения» (ОМУ) многоцелевого назначения под торговой маркой «САПРОСИЛна основе сапропеля, разработанного под руководством Л.В. Кирейчевой [16].

Характеристика объекта

Опытный участок находится на мелиорируемых землях ОПХ «Полково» Рязанского района Рязанской области, который был осушен в 1962 году и использовался в полевом севообороте. Ранее объект был представлен маломощными торфяными почвами. Осушается объект закрытой сетью, уровень грунтовых вод в среднем за вегетацию составляет 60 – 150 см от поверхности. Длительность эксплуатации объекта составляет 55 лет, он представлен в настоящее время сработанными торфяными почвами, которые относятся к отделу агроземов двух разновидностей – минерального и перегнойно-минерального.

Состав работы и методика исследований

Полевой многолетний опыт по исследованиям эффективности восстановления плодородия и повышения продуктивности сработанных торфяных почв, путем применения нового органоминерального удобрения (ОМУ) на основе сапропеля и торфа под руководством Л.В. Кирейчевой и при участии В.Ю. Павлова был заложен в 2014 году.

Основой предлагаемого органоминерального удобрения является высокозоновый сапропель озера Белое и низинный торф Карамбай-Пычасского месторождения в Татарстане. Представленные образцы торфа и сапропеля имеют низкое содержание питательных веществ. Для оптимизации содержания элементов минерального питания в смесь внесены минеральные удобрения. Состав ОМУ приведен в таблице 1.

Способ приготовления многокомпонентного органоминерального удобрения на торфо-сапропелевой основе осуществляется следующим образом. На первом этапе к предварительно замороженному сапропелю (влажность 50-60%) добавляется аэросил марки А-300 в качестве стартового источника доступного растениям аморфного кремния. Компоненты смеси тщательно перемешиваются. Смесь выдерживается 2-3 дня для восстановления состояния динамического равновесия всех химических процессов. На следующем этапе производится смешивание сапропелево-кремниевой составляющей смеси с торфом в соотношении 1:1 по объему и минеральными удобрениями. Производится тщательное перемешивание для обеспечения однородности смеси [16].

Таблица 1 - Состав удобрительной смеси с учетом влажности торфа и сапропеля на 1 тонну смеси [16]

Компонент органоминерального удобрения	Содержание на 1 т смеси с учетом влажности, кг	Содержание в смеси, %
Сапропель (50% влажности)	580	58
Торф (55% влажности)	322	32,2
Хлористый калий (63,1% K ₂ O)	10	1
Суперфосфат (6% N, 26% P ₂ O ₅)	18	1,8
Аммиачная селитра (34,4% N)	20	2
Аэросил (А-300)	50	5

Применения предлагаемого многокомпонентного удобрения на торфо-сапропелевой основе направлено на восстановление запаса органического вещества в почве, повышение энергетического потенциала почв [9, 16, 19].

Внесение в 2014 году ОМУ и сапропеля проводилось методом рассыпания вручную по задискованной почве и последующей заделки дискованием. Схема полевого опыта предусматривала рандомизированное размещение трех вариантов в четырехкратной повторности на делянках размером 10x10 м².

Варианты следующие:

- внесение органоминерального удобрения (ОМУ) «Сапросил» нормой 5 т/га;
- внесение мелкогранулированного сапропеля нормой 10 т/га;
- контроль.

Культурой реагентом в 2014 году являлся яровой ячмень сорта «Криничный». Посев провели 02.05. норма высева 220 кг/га, ячмень перед посевом протравили «Кинто Доу» нормой 2 – 2,5 кг/т, 17.06. провели опрыскивание посевов гербицидом «Гранстар» нормой 15 г/га.

В 2015 году провели весеннюю культивацию тяжелой дисковой бороной на глубину 15 - 18 см. Культурой реагентом был выбран яровой рапс сорта «Визит» 1^{ой} репродукции. Нормой высева 10 - 12 кг/га. Перед посевом семена рапса за 18 дней инкрустировали препаратом фурадан нормой 15 кг/т. Кроме того, были внесены минеральные удобрения из расчета 100кг/га азота, фосфора, калия; а вариант контроль был разбит на два участка на одном из которых также внесли удобрения (*вариант - фон*) с последующим дискованием. Затем выполнялось прикатывание с помощью гладких катков. Сев рапса осуществили 28 апреля, после чего посеы прикатали гладкими катками. При появлении блошки провели опрыскивание 12.05 препаратом алатар нормой 500 мл/га.

В 2016 году культурой реагентом является овес сорта «Горизонт» 2^{ой} репродукции. 25 апреля на вариантах: ОМУ, сапропель, фон внесли азофоску в ко-

личестве N; P₂O₅; K₂O 60 кг/га действующего вещества. Затем провели дискование почвы дисковой бороной (БДТ-3). Перед посевом участок заборонвали зубовой бороной «зиг-заг». Посев провели 28 апреля. Норма высева 250 кг/га. После посева прикатали гладким катком. 23 мая провели опрыскивание гербицидом «Гранстар» нормой 20 г/га.

В 2017 году культурой реагентом является овес сорта «Горизонт». Вспашка почвы плугом ПЛН 3-35 и последующим фрезерованием мотоблоком «Хонда» были проведены 1-го мая. Посев провели вручную 03.05. Норма высева 250 кг/га. После посева семена заделали мотоблоком «Хонда»

Методики наблюдений за водным режимом, агрохимическими свойствами почвы, ростом и развитием растений общеприняты.

Результаты экспериментальных исследований

За вегетационный период май – август выпало осадков в сумме 245,1 мм, что составило 42% обеспеченности по осадкам. При этом среднесуточная температура воздуха за этот период составила 14,9⁰С, при среднемноголетнем 16,5⁰С, что соответствует прохладному году. Что касается среднесуточной влажности воздуха, то в 2017 году за период май – август она составила 63,6%, а среднемноголетнее значение – 62,1%, что на 1,5% выше. Таким образом, 2017 год характеризуется как влажным по осадкам, холодным с повышенной влажностью воздуха. Сухими периодами при отсутствии осадков явились первая и вторая декады мая и августа.

В период вегетации овса проводили наблюдения за ростом и развитием растений, начиная со всходов и кончая уборкой учетных площадок (рис. 1). Во время наблюдений существенных различий в наступлении фаз развития не наблюдалось. Несмотря на это, начиная с фазы полного кущения, наступившей 20 мая и до уборки, отмечалось более интенсивная зелёная окраска посевов на удобренных участках. Особенно это было заметно на вариантах с внесением ОМУ и сапропеля.

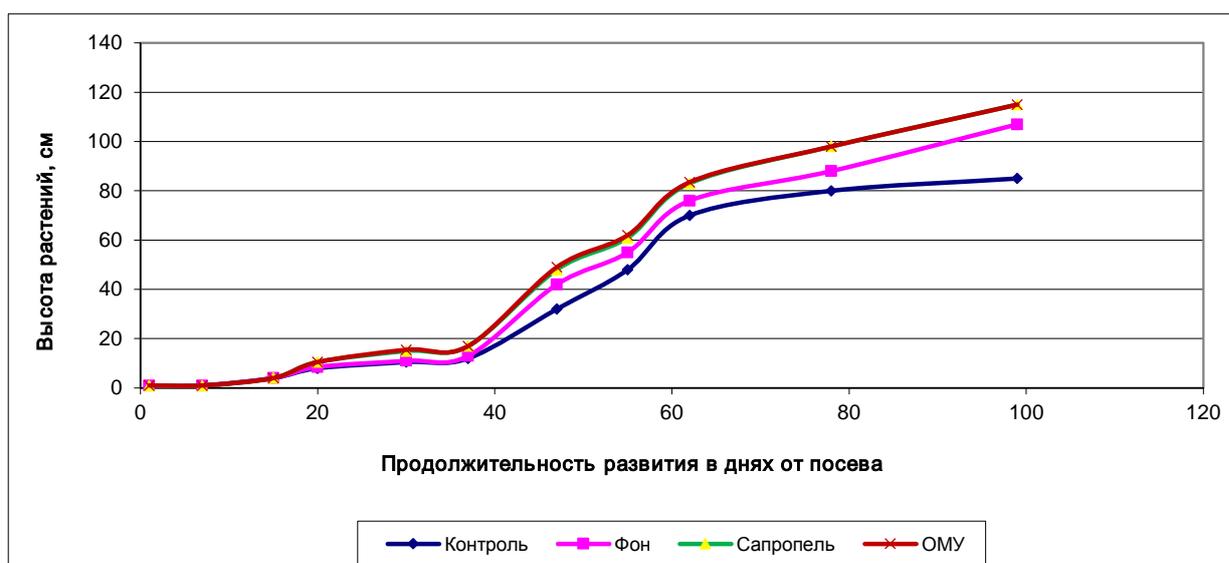


Рисунок 1 – Динамика роста растений овса

Внесение удобрений не повлияло на появление всходов и их рост в начальный период. Существенного влияния так же не отмечено и в фазу начала кущения (20.05.). Однако в конце фазы начала выхода в трубку отмечается действие удобрений в варианте сапропель и ОМУ к контролю +5,0 см., фон +1 см. В период развития наиболее интенсивный рост овса наблюдался в фазе выхода в трубку – выметывания метелки. Различия в росте в эти периоды составляли от 6 до 18 см на варианте с внесением сапропеля и ОМУ с 13 до 18 см, а на варианте фон от 6 до 8 см. Эти различия прослеживаются до уборки.

В период вегетации на вариантах опыта отбиралось по 20 растений, и определяли площадь листовой поверхности. Данные представлены в таблице 2.

Данные таблицы 2 отмечают различия в площади листовой поверхности растения уже в фазе кущения. Так при внесении удобрений она во всех вариантах выше, чем на контроле на 1,5 см² вариант фон, на 3,4 см сапропель и на 3,7 см на варианте ОМУ. В дальнейшем различия сохраняются и в фазе выметывания и составляют на 8,1; 13,2 и 13,3 см соответственно. Максимальные размеры площади листьев овса отмечены на варианте сапропель и ОМУ в фазе выметывания.

Таблица 2 - Динамика листовой поверхности по фазам развития растений

Вариант	Площадь листовой поверхности одного растения в среднем в фазу, см ²		
	Кущение	Трубкавание	Выметывание
Контроль	7,0	37,8	86,2
Фон	8,5	49,8	94,3
Сапропель	10,4	66,3	99,4
ОМУ	10,7	66,1	99,5

В период созревания овса 21.08. провели уборку учетных делянок площадью 1 м². Данные представлены в таблице 3.

Удобрения оказали положительное влияние на продуктивность овса. Прибавка урожая зерна существенна на всех вариантах и составляет в процентах к контролю: 7,4; 23,9; 26,4 % соответственно вариантам: фон, сапропель, ОМУ.

Таблица 3 - Урожай зерна овса, т/га 2017 год

Вариант	Средняя урожайность, т/га	Разность с контролем	
		т/га	%
Контроль	1,63	-	-
Фон	1,75	+0,12	+7,4
Сапропель	2,02	+0,39	+23,9
ОМУ	2,06	+0,43	+26,4
НСР ₀₅		0,23	

Данные таблицы 3 подтверждают пролонгированный характер сапропеля и удобрений на его основе. Через три года после внесения сапропель и ОМУ оказали положительное влияние на урожай зерна, прибавка его существенна по сравнению с вариантами контроль и фон, и составляет к варианту контроль + 0,39, +0,43 т/га, к варианту фон + 0,27, 0,31 т/га соответственно. В сравнении варианта сапропель с вариантом органоминеральное удобрение, последнее не показало достоверную прибавку 0,04 т/га зерна.

Влияние удобрений на структуру урожая и качество зерна ячменя представлено в таблице 4.

Исследованиями установлено, что под влиянием различных систем удобрений озернёность метёлки изменялась в зависимости от питания с 19,5 штук зёрен в колосе на контроле, до 22,6 штук на варианте с внесением сапропеля и 23 штук на варианте ОМУ. Масса 1000 зёрен на контрольном варианте составила 30,2 г. Сапропель и органоминеральное удобрение повышали этот показатель на 1,7 г. и 1,6 г. соответственно.

Таблица 4 - Качественные показатели зерна овса, 2017г

Варианты опыта	Количество зерен в колосе		Масса 1000 зерен		
	штук	Отклонение от контроля, г	г	Отклонение от контроля	
				г	%
Контроль	19,5	-	30,2	-	-
Фон	21,3	+1,8	30,9	+0,7	2,3
Сапропель	22,6	+3,1	31,9	+1,7	5,6
ОМУ	23	+3,5	31,8	+1,6	5,3

Заключение

Таким образом, комплексное органоминеральное удобрение на основе сапропеля, торфа, аморфного кремнезема и минеральных удобрений является продуктом пролонгированного действия, применение которого восстанавливает плодородие, повышает урожайность сельскохозяйственных культур.

Органоминеральное удобрение «Сапросил») можно рекомендовать при восстановлении деградированных торфяных почв, а также к использованию в составе проектных решений в проведении реабилитационных мероприятий к использованию в проектах реабилитационных мероприятий по ликвидации техногенной загрязнённости территорий и для восстановления продуктивности почв при рекультивации нарушенных земель.

Список используемых источников

1. Евсенкин, К.Н. Воздействие органоминерального удобрительного мелиоранта на плодородие и урожай [Текст] / К.Н. Евсенкин, С.В. Перегудов, А.В. Нефедов, А.В. Фомкин,

Н.А. Иванникова // «Комплексные мелиорации основа повышения продуктивности сельскохозяйственных земель» Материалы юбилейной международ. конф. – М. - ВНИИА, 2014. - С. 62.

2. Евсенкин, К.Н. Влияние нового органоминерального удобрения на плодородие почвы и урожай зеленой массы ярового рапса [Текст] / К.Н. Евсенкин, А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова // Научно-практические аспекты технологии возделывания и переработки масличных и эфиромасличных культур: материалы Международной научно-практической конференции, РГАТУ, Рязань, 3 – 4 марта 2016. – Рязань: РГАТУ, 2016. – 327 с. С. 73 – 79.

3. Иванникова, Н.А. Удобрительный мелиорант и подпочвенное увлажнение как факторы повышения урожайности однолетних трав [Текст] / Н.А. Иванникова, К.Н. Евсенкин, С.В. Перегудов, А.В. Нефедов // Мелиорация и водное хозяйство -2015. № 4. С. 2–5.

4. Ивенин, В.В. Использование биологических отходов сельскохозяйственного производства в качестве органического удобрения [Текст] / В.В. Ивенин, Е.В. Михалев, А.В. Ивенин // Агрохимический вестник. 2011 № 4 – С. 26 – 28.

5. Ильинский, А.В. Биоремедиация загрязнённых нефтепродуктами почв при помощи карбонатного сапропеля и биопрепарата «Нафтокс» [Текст] / А.В. Ильинский, Л.В. Кирейчева, Д.В. Виноградов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 2 (30). – С. 9–13.

6. Кирейчева, Л.В. Мелиорация земель в России: планы и реальность [Текст] / Л.В. Кирейчева // Мелиорация и водное хозяйство.2013. № 2. С. 25.

7. Кирейчева, Л.В. Обоснование использования удобрительно-мелиорирующей смеси на основе торфа и сапропеля для повышения плодородия деградированных почв [Текст] / Л.В. Кирейчева, А.В. Нефедов, К.Н. Евсенкин, А.В.Ильинский, Д.В. Виноградов, Н.А. Иванникова // Вестник Рязанского Агротехнологического университета имени П.А. Костычева № 3 (31), 2016.- С. 12 – 17.

8. Кирейчева, Л.В. Исследования пролонгированного действия органо-минерального удобрения «Сапросил» и его влияние на урожай овса [Текст] / Л.В. Кирейчева, В.М. Яшин, А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова, К.Н. Евсенкин // 2-я Международная научно-практическая Интернет-конференция «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования» – Солёное Займище: ФГБНУ ПНИИАЗ, 2017. – С. 1070–1075.

9. Кирейчева, Л.В. Эффективность применения органоминеральных удобрений на основе внесения сапропеля. [Текст] / Л.В. Кирейчева, В.М. Яшин //Агрохимический вестник. – 2015. - №2. - С. 37-40.

10. Кирейчева, Л.В. Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России. [Текст] / Л.В. Кирейчева, И.Ф. Юрченко, В.М. Яшин // Под научной редакцией доктора технических наук, профессора Кирейчевой Л.В. М: ФБГНУ «ВНИИ Агрохимии». 2017. – 296 с.

11. Нефедов, А.В. Отзывчивость растений овса на внесение под предшественник органо-минерального удобрения «Сапросил» [Текст] / А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова, К.Н. Евсенкин // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных ресурсосберегающих технологий в АПК: материалы Международной научно-практической конференции, РГАТУ, Рязань, 16-17 февраля 2017 г.) / под ред. Д.В. Виноградова. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2017. – Ч. 1. – С. 334–337.

12. Нефедов, А.В. Влияние нового органоминерального удобрения на урожай и качество вегетативной массы ярового рапса [Текст] / А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова, К.Н. Евсенкин // Современные тенденции развития аграрного комплекса. Материалы Международной научно-практической конференции / Солёное Займище. ФГБНУ «ПНИИАЗ» - Солёное Займище, - 2016. – 1825 с. С 604 – 608.

13. Нефедов, А.В. Динамика образования азота в почве при внесении органно-минеральных удобрений [Текст] / А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова, К.Н. Евсенкин // 2 Международная научно-практическая Интернет-конференция «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования». – Солонное Займище: ФГБНУ ПНИИАЗ, 2017. – С. 1075–1079.

14. Никитин, В.А. Применение торфа и продуктов его переработки в сельском хозяйстве [Текст] / В.А. Никитин, В.А. Петрунина // Агрехимический вестник. 2010. № 5 – С. 39 – 40.

15. Перегудов, С.В. Повышение плодородия почв выработанных торфяников Мещёрской низменности удобрениями длительного действия [Текст] / С.В. Перегудов // - Автореф. На соискание ученой степени канд.с.-х. н. - М., 2008, 22 с.

16. Патент № 2566684, Российская Федерация, МПК С 05 F 7/00 (2006.01). Многокомпонентное органоминеральное удобрение [Текст] / Вазыхов И.Т., Кирейчева Л.В., Пуховская Т.Ю., Павлов В.Ю.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Торгово-производственная компания «Камский сапропель», ООО ТПК «Камский сапропель». - № 2014146486/13; заявл. 20.11.14; опубл. 27.10.15. – 5 с. : ил.

17. Славянский, А.А., Отходы сахарного производства и их использование в сельском хозяйстве [Текст] / А.А. Славянский, Л.В. Кирейчева, Л.Н. Пузанова // Сахар. № 10, 2009. С. 48-49.

18. Ушаков Р.Н. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистых почв в процессе длительного сельскохозяйственного использования [Текст] / Р.Н. Ушаков, А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2017. – 3 (35). – С. 78–83.

19. Яшин, В.М., Исследования эффективности нового органоминерального удобрения для повышения плодородия деградированных почв [Текст] / В.М. Яшин, К.Н. Евсенкин, С.В. Перегудов, А.В. Нефедов //Сб. науч. прак. конф. с международным участием «Экологические проблемы использования органических удобрений в земледелии» - Владимир ФГБНУ ВНИИОУ, 8 – 10 июля 2015. – С. 223 – 229.

УДК 631.6; 504.06; 004.9

ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Кирейчева Л.В., Яшин В.М.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В статье предложена структура информационной технологии (системы поддержки управляющих решений) по управлению мелиоративными режимами при эксплуатации оросительных системах нового поколения. Показано, что в процессе управления мелиоративным режимом целесообразно использовать энергетический подход: целенаправленное изменение водного, органического и минерального режимов (балансов) для достижения планируемого (нормативного) энергетического состояния почвы с целью получения высокой урожайности растениеводческой продукции на орошаемых землях при сохранении благоприятной экологической ситуации. Выделено два уровня управления мелиоративным режимом – оперативный (сезонный) и многолетний и рассмотрены два

варианта алгоритма управления – на оперативном уровне и на уровне многолетнего регулирования. Даны основные требования к информационному обеспечению системы поддержки управленческих решений.

Ключевые слова: ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, МЕЛИОРАТИВНЫЙ РЕЖИМ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД, УРОВНИ УПРАВЛЕНИЯ, ТРЕБОВАНИЯ К ПОКАЗАТЕЛЯМ МЕЛИОРАТИВНОГО РЕЖИМА

Введение

Научные основы создания и эксплуатации мелиоративных систем нового поколения предопределили необходимость формирования информационного пространства знаний, как основу для инноваций и информационно-коммуникационных технологий при обосновании, проектировании и управлении мелиоративными системами. Опыт текущего состояния мелиорации в России показывает практическое отсутствие автоматизации управления мелиоративными системами и продукционным процессом на мелиорированных землях, что существенно снижает эффективность мелиоративной деятельности [1].

Опираясь на принципы создания экологически безопасных оросительных систем, обеспечивающих, помимо повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий и качества растениеводческой продукции, устойчивость и оздоровление агроландшафтов, создание условий для их развития, предложены следующие информационные технологии, обеспечивающие реализацию современных требований к оросительным системам нового поколения [2,3,4]:

- информационная технология управления мелиоративными режимами при эксплуатации оросительных систем;

- автоматизированная технология выбора технических решений по управлению качеством оросительных и дренажно-сбросных вод при проектировании оросительных систем нового поколения;

- информационная технология оценки и управления геоэкологическими рисками при проектировании и эксплуатации оросительных систем;

- система поддержки принятия решений по планированию мероприятий технической эксплуатации на оросительных системах нового поколения.

Цель настоящих исследований – разработать принципы и структуру информационной технологии (системы поддержки управляющих решений) по управлению мелиоративными режимами при эксплуатации оросительных систем нового поколения.

Методика исследований

Основными компонентами методической базы научно-исследовательских работ являются:

- теоретико-методологические основы и обобщение опубликованных научных и практических результатов, выполненные исследования ВНИИГиМ и

научно-исследовательских институтов отрасли, анализ опыта эксплуатации мелиоративных систем и оценка динамики состояния компонентов ландшафтов при функционировании мелиоративных систем;

- методология управления мелиоративными режимами в условиях интенсивной антропогенной нагрузки с учетом закономерностей вещественно-энергетической трансформации агроландшафта при проведении комплексных мелиораций;

- модели управления мелиоративными режимами орошаемых земель.

Результаты и обсуждение

Известно, что вода и питательные вещества, определяющие регулирование основных факторов жизни растений, находятся в состоянии непрерывного круговорота, причем их направление совпадает, но скорости существенно различаются. Зольные и химические элементы принимают участие, как в биологическом, так и в техногенном круговоротах и оказывают существенное влияние на молекулярные процессы в почве. Учитывая, что почва имеет сложную организацию, где наряду с химическими реакциями, значительную роль играют микробиологические процессы, управление мелиоративным режимом должно быть направлено на регулирование внутреннего влагооборота (биологического круговорота), обеспечивающего сбалансирование процессов накопления и минерализации органического вещества и приводящего к повышению плодородия почвы при удовлетворении потребности растений в воде и элементах питания [5]. В условиях орошения при дефиците естественной увлажненности территории требуются дополнительные водные ресурсы, которые поставляются оросительной системой, при этом затрачиваются значительные энергетические ресурсы [6]. Энергетические ресурсы затрачиваются также на внесение минеральных и органических веществ, проведения агротехнических мероприятий проведение химических мелиораций и др.

Процессами превращения веществ также управляют потоки энергии, поэтому представляется целесообразным перейти от вещественной к энергетической оценке почвенных процессов, определяющих мелиоративный режим почвы [7]. Поэтому при планировании устойчивого повышения почвенного плодородия в процессе управления мелиоративным режимом целесообразно использовать энергетический подход: целенаправленное изменение водного, органического и минерального режимов (балансов) для достижения планируемого (нормативного) энергетического состояния почвы [8, 9]. Критерием благоприятности мелиоративного режима является приращение энергии (ΔG) в природном объекте в зависимости от природных и хозяйственных условий, представляющее собой необходимое количество энергетических ресурсов для обеспечения воспроизводства почвенного плодородия.

Задача управления мелиоративными режимами на сельскохозяйственных землях заключается в определении управляющих воздействий, которые формировали бы требуемое состояние почвы, обеспечивающее постоянную поддержку ее энергетического состояния и, как следствие, плодородия или его расширенное воспроизводство.

При этом мелиоративный режим почвы может быть:

- эволюционирующим, обеспечивающим расширенное воспроизводства почвенного плодородия;

- компенсационным, обеспечивающим нулевой энергетический баланс мелиорируемых почв в многолетнем плане;

- деградирующим, когда в многолетнем разрезе наблюдается устойчивая убыль энергетического потенциала почв, обуславливающая их истощение.

В настоящее время на мелиорированных землях России наблюдается отрицательный баланс питательных веществ в почве, и как следствие, снижение запасов гумуса в почве и развитие деградационных процессов.

В качестве основных показателей мелиоративного режима орошаемых земель можно рассматривать:

- величину влагообмена в почве, обеспечивающую благоприятный воздушный и водно-солевой режимы мелиорируемых почв. Влагосодержание и качество почвенного раствора являются лимитирующими факторами процессов роста и развития растений. Пределы регулирования почвенной влажности для различных сельскохозяйственных культур и почвенных условий устанавливаются на основе исследований на орошаемых землях;

- буферность почвы. Буферность почвы - это способность противодействовать изменению рН при подкислении или подщелачивании, а в широком смысле — это мера устойчивости почв различным воздействиям. Определяется наличием илистой и коллоидной фракций и удельной поверхностью почвы;

- наличие необходимых питательных элементов и микроэлементов. Элементы минерального питания обеспечивают продукционный процесс развития сельскохозяйственных культур. Вместе с тем, систематическое внесение высоких доз минеральных удобрений усиливает минерализацию гумуса, а поступление в почву возрастающего количества органических остатков не компенсирует потерь гумуса;

- содержание гумуса. Гумус выполняет роль аккумулятора и распределителя энергии в формировании потоков вещества и играет определяющую роль в формировании процессов физико-химической сорбции, емкости катионного обмена и водоудерживания в почве и формирования качества почвенного раствора, непосредственно участвующего в питании растений;

- окислительно-восстановительный потенциал почв, содержание токсичных солей и содержание Na в ППК. Засоленность почвы определяется содержанием водно-растворимых солей в почве, отрицательно влияющих на развитие растений. Засоленными считаются почвы, содержащие более 0,1% массы почвы токсичных солей, или 0,25% всех солей (по плотному остатку для безгипсовых почв). Содержание солей определяет электропроводность почвы и почвенного раствора, что может использоваться для оперативного контроля засоленности почв [8,9]. Осолонцованность почв определяется концентрацией ионов натрия в почвенно-поглощающем комплексе (ППК), который характеризуется емкостью

катионного обмена (ЕКО). Особенности поглотительной способности почв в значительной степени обусловлены составом ППК, составом и строением почвенных коллоидов.

При эксплуатации мелиоративных систем выделяют два уровня управления мелиоративным режимом – оперативный (сезонный) и многолетний.

Оперативный уровень предполагает возможность внутрисезонного регулирования водного режима путем подачи оросительной воды; питательного режима за счет внесения биогенных элементов; содержания гумуса в почве за счет внесения органического вещества, солевого режима почвы в условиях вторичного засоления староорошаемых земель путем проведения влагозарядковых поливов и промывного режима орошения; уровня грунтовых вод путем отвода дренажного стока; качества оросительной и сбросной воды.

Управление мелиоративным режимом в многолетнем режиме осуществляется по годовым или многолетним данным эколого-мелиоративного мониторинга и службы эксплуатации мелиоративных систем. Выбор и обоснование мелиоративных и экомелиоративных управляющих воздействий (мероприятий) осуществляется на основе анализа трендов формирования мелиоративного состояния земель и прогнозов водного, солевого, питательного режимов и динамики содержания гумуса в почве.

В этой связи рассмотрены два варианта алгоритма управления – на оперативном уровне и на уровне многолетнего регулирования (рис. 1).



Рисунок 1 – Алгоритмы управления мелиоративным режимом при эксплуатации оросительных систем

Для оперативного (сезонного) управления необходима информация о показателях существенно изменяющихся в вегетационный период: влажность

почвы; глубина и минерализация грунтовых вод (при гидроморфном режиме); показатели качества оросительной и дренажной воды; засоленность почвы; состав мелиоративных мероприятий. Оперативное управление базируется на применении технических средств быстрого сбора и обработки необходимой информации и решении текущих вопросов, связанных с корректировкой управляющих воздействий. Автоматизированная информационная система должна формироваться в системе существующих служб эксплуатации внутрихозяйственных оросительных систем [11] и быть подключена к системе сбора метеорологической и другой оперативной информации, а также к блоку управления оросительной сетью.

Управление на стратегическом уровне требует выполнения анализа информации о состоянии агрофизических и агрохимических свойств почвы, засоленности, солонцеватости, загрязненности почв, режиму грунтовых вод, качеству сельскохозяйственной продукции, нормах внесения органических и минеральных удобрений, знаниях о составе реализованных и требуемых мелиоративных мероприятий для предупреждения и ликвидации неблагоприятных последствий.

Предложенная структурная схема обобщенной модели управления мелиоративными режимами представляет процесс функционирования мелиоративных систем и их взаимодействия с компонентами природной среды, как динамический, постоянно настраивающийся комплекс, включает [12]:

- базу исходных данных о характеристике природных условий;
- базу актуальных (текущих) данных об изменяющихся параметрах природно-мелиоративных процессов и состоянии компонентов природной среды, характеризующих отклик функционирования мелиоративной системы;
- базу нормативно-справочной информации, включая экологические ограничения;
- систему моделей для прогнозирования природно-мелиоративных процессов;
- состав воздействующих мелиоративных и экомелиоративных мероприятий, включая мероприятия по предупреждению и ликвидации неблагоприятных последствий;
- оперативные данные по формированию факторов жизни сельскохозяйственных растений на мелиорируемых землях.

Основными требованиями к информационному обеспечению технологии поддержки управленческого решения являются необходимость и достаточность, комплексность и системность данных и их получения. Для элементных характеристик информации, как правило, накладываются следующие требования к качеству:

- ⇒ достаточность;
- ⇒ надежность;
- ⇒ многократность использования;
- ⇒ высокая скорость сбора, обработки и передачи;
- ⇒ актуальность

Заключение

Таким образом, новая методология управления мелиоративным режимом орошаемых земель, основанная на энергетическом подходе к оценке мелиоративной деятельности, позволяет создать необходимые условия для обеспечения высокой продуктивности и устойчивости орошаемых агроландшафтов, обосновать выбор мероприятий для восполнения энергетических затрат почвы. Последнее достигается путем создания благоприятных водных, солевых, питательных, тепловых, кислотно-щелочных условий жизнедеятельности агроценозов и допустимого уровня антропогенного загрязнения почв при экологически безопасной продуктивности мелиорируемых земель и отсутствии деградационных процессов почвы.

Список использованных источников

1. Кирейчева Л.В. Мелиорация земель в России: планы и реальность // Мелиорация и водное хозяйство. 2013. № 2. С. 2-5.
2. Кирейчева Л.В. Экологические основы комплексных мелиораций агроландшафтов // Мелиорация и водное хозяйство. 2002. № 5. С. 3.
3. Кирейчева Л.В. Экологические принципы создания совершенных мелиоративных систем // Природообустройство. 2017. № 5. С. 70-75.
4. Кирейчева Л.В. Концепция создания устойчивых мелиоративных ландшафтов. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 1997. № 5. С. 51-55.
5. Кизяев Б.М., Кирейчева Л.В. Восстановление плодородия мелиорируемых земель – актуальная задача. // Плодородие 2006. № 5. С. 18-19.
6. Кирейчева Л.В. Методология управления мелиоративным режимом сельскохозяйственных земель при проведении гидромелиорации / Сб.: Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства в России. Материалы международной научно-практической конференции (Костяковские чтения). М., 2013. С. 17-22.
7. Манусов Е., Манусова Н., Кошаровский В., Фиговский О., Бикбау М., Кирейчева Л., Алексеенко В. Об управлении экосистемами и другими открытыми системами. // Международный научный журнал. Альтернативная энергетика и экология. 2009. № 1. С. 50-54.
8. Кирейчева Л.В., Белова И.В., Карпенко Н.П., Адьяев С.Б., Дедова Э.Б., Кониева Г.Н. Технологии управления продуктивностью мелиорируемых агроландшафтов различных регионов Российской Федерации. Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н.Костякова. М., 2008.
9. Кирейчева Л.В., Белова И.В., Глистин М.В., Устинов М.Т., Юрченко И.Ф., Хохлова О.Б., Яшин В.М. Эколого-экономическая эффективность комплексных мелиораций Барабинской низменности. - М.: ВНИИА – 2009. – 312 с.
10. Спешков Б.А., Яшин В.М. Устройство для измерения электропроводности грунтов. Патент на изобретение РФ МПК G1 N 27/22A , 1995
11. Нормативно-методическое обеспечение системы государственного контроля и надзора в мелиорации /сост. Щедрин В.Н., Гулюк Г.Г., Бочкарев В.Я., Балакай Г.Т.: ФГНУ «РосНИИПМ» - М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2003. – 437 с.
12. Кирейчева Л.В., Юрченко И.Ф., Яшин В.М. Модели и информационные технологии управления водопользованием на мелиоративных системах, обеспечивающие благоприятный мелиоративный режим /Л.В. Кирейчева, //Мелиорация и водное хозяйство. -2014. -№ 5-6. -С. 50-55.

ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФИТОРЕМЕДИАНТОВ И КОМБИНИРОВАННЫХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ**Кирейчева Л.В.¹, Ильинский А.В.²**¹ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия;²МФ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», пос. Солотча, Россия

Загрязнённость почв земель сельскохозяйственного назначения нефтепродуктами, может привести к значительному снижению почвенного плодородия, протеканию глубоких изменений химических, физических, микробиологических свойств, а иногда и существенной перестройки всего почвенного профиля, приводящей к деградации почв [11, 12, 21, 22]. В виду того, что самоочищение почвы от нефтепродуктов является длительным процессом, протекающим при активном участии аборигенных почвенных углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ) и растений, то для ускорения их биодеструкции и восстановления почвенного плодородия необходимо в загрязненной почве создать оптимальные условия для их жизнедеятельности [8, 10, 20]. При уровне загрязнения почвы нефтепродуктами от 1 до 10 г/кг рекультивацию следует выполнять с использованием мягких мероприятий по усилению процессов её самоочищения. Начиная с уровня загрязнения почвы нефтепродуктами 10 г/кг необходимо применение специальных мелиоративных мероприятий по санации и восстановлению плодородия почв [20]. Для повышения эффективности очистки от поллютантов почв и интенсивного восстановления их плодородия необходимы разработка и внедрение инновационных мелиоративных мероприятий, основанных на комплексном использовании фиторемедиантов и сложных органоминеральных удобрений пролонгированного действия отечественного производства [6, 9, 16, 24].

По мнению С.Н. Гашева, М.Н. Казанцевой, А.В. Соромотина [2] восстановить загрязнённые нефтепродуктами почвы возможно с помощью биопотенциала, заложенного природой в растения. Основным преимуществом данного метода является высокая экономичность в сравнении с другими, существующими в настоящее время методами очистки, и достаточно высокая степень очистки почв [13, 18]. Существует четыре основных принципа фиторемедиации почв от поллютантов с помощью растений [7]: ризодеградация, фитодеградация, фитостабилизация, фитоиспарение. *Ризодеградация* заключается в том, что разложение нефтяных углеводородов производится микроорганизмами, обитающими в непосредственной близости к корням растений, т.е. в ризосфере. Роль растения заключается в значительном усилении эффективности работы микроорганизмов за счет биологически активных корневых выделений, при этом растения, помимо стимуляции микроорганизмов, сами могут принимать непосредственное участие

в разложении углеводов. *Фитодеградация* - «внутреннее» разрушение углеводов растением, после поглощения, в ходе метаболических процессов, либо «внешнее» разрушение под действием корневых выделений растений. *Фитостабилизация* – накопление (иммобилизация) растением загрязняющих веществ из почвы или грунтовых вод. Она осуществляется за счёт различных процессов: абсорбции поллютантов корнями и накопления их в растении; адсорбции поллютантов в прикорневой зоне, ризосфере, и (или) их осаждение там. Однако, в отношении иммобилизации нефтяных углеводов из всех изучавшихся видов растений ни одно не показало значительного эффекта, хотя данный метод хорошо зарекомендовал себя при очистке почв и грунтовых вод тяжелых металлов. *Фитоиспарение* - способность растения поглощать из почвы нефтяные углеводороды в процессе поддержания своего водного баланса, т.е. вместе с водой «выкачивать» из почвы загрязняющие вещества. Эта способность, хотя и может быть использована для очистки нефтяных загрязнений, вместе с тем, является полумерой, поскольку загрязняющее вещество выводится в атмосферу в процессе транспирации. Более эффективным является очистка, когда растение совмещает способность к фитоиспарению и фитодеградации, тогда в воздух выводятся только безопасные продукты разложения нефтепродуктов [7].

Одним из ключевых моментов при разработке фитомелиоративного приёма очистки почв от нефтепродуктов является выбор наиболее подходящего фиторемедианта [26]. В настоящее время критерии выбора растений для фиторемедиации основываются на их способности произрастать на загрязненных почвах и доступности семенного материала [1, 13]. К растениям, разлагающим нефтепродукты относится Росичка (*Digitaria*), род одно- или многолетних трав семейства злаков, она с успехом разлагает нефть и продукты ее переработки на безопасные компоненты - двуокись углерода и воду [7]. В своих исследованиях И.Ю. Давыдова [4] установила, что наибольший положительный эффект при фиторемедиации черноземных почв, загрязненных нефтью, был достигнут при выращивании овса в сочетании с внесением ферментированного навоза и мелиоранта, содержащего углеводы. Для усиления фиторемедиации почв перспективным может служить одновременное использование нескольких видов растений-фитомелиорантов, способных накапливать в своей фитомассе минеральные соли и тем самым снижать их содержание в почвенном растворе [25]. В качестве растений-фитомелиорантов возможно также применять клевер ползучий, щавель и осоку [5]. Значительному снижению концентрации нефтепродуктов в почве способствует выращивание ячменно-овсяной смеси или травосмеси (газонные травы - 20% райграсс многолетний Генриетта, 15% райграсс многолетний Фэнси, 20% овсяница красная Реверент, 10% овсяница волосовидная Маркер, 10% овсяница измененная Вилма, 10% овсяница овечья Спартан, 15% мятлик луговой Эвора) [7]. По мнению А.И. Голованова [3], пионерными культурами, обладающими высокой фиторекультивационной способностью и способствующие ускорению деструкции нефтепродуктов в почве, по сравнению с другими растениями, являются бобово-злаковые травосмеси.

Ускорить процессы деградации поллютантов в почве можно не только путем посева специально подобранных растений, но и созданием условий для их интенсивного роста и повышения метаболической активности их ризосферного микробоценоза [23]. На наш взгляд, создать такие условия следует в первую очередь приёмами агротехнической и агрохимической мелиорации: агротехническая обработка почвы, внесение окислителей нефтепродуктов, минеральных, органических или различных комбинированных мелиорантов пролонгированного действия на основе торфа и сапропеля, например, органоминерального удобрения многоцелевого назначения «Сапросил», разработанного под руководством Л.В. Кирейчевой [17, 19] на основе торфо-сапропелевой смеси с применением аморфного кремнезема (аэросила) в процентном соотношении, необходимом для эффективного взаимодействия гуминовых кислот с кремниевыми соединениями; добавлением торфа в соотношении 1:1 по объему и минеральных удобрений при следующем соотношении компонентов, мас. %: карбонатный сапрпель – 60%, торф – 30%, минеральные удобрения (NPK) – 5, коллоидный диоксид кремния – 5%. Данное органоминеральное удобрение на основе торфа и сапропеля совмещает достоинства минеральных и органических удобрений, позволяет улучшить рост и развитие культур-фитомелиорантов и, тем самым, способствует усилению процесса биодеструкции нефтепродуктов. «Сапросил» содержит в своем составе органическое вещество, основные макроэлементы – азот, фосфор и калий, кремний, микроэлементы, гуминовые и биологически активные вещества, имеет благоприятный уровень pH (6,7) [14, 19]. Как показали вегетационные и полевые исследования, ранее выполненные в ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» [14, 15, 16, 17], в результате его внесения в дозе 5 т/га в почву, за счёт взаимодействия торфа и сапропеля с аморфным кремнеземом, активизируются процессы гумусообразования, улучшается физико-химическое состояние почвы, вносятся элементы питания и биологически активные соединения, что выражается в повышении урожайности растениеводческой продукции на 37-60%.

Важнейшим механизмом фиторемедиации нефтезагрязнённой почвы также является биodeградация углеводов нефти аборигенными почвенными микроорганизмами, чье развитие стимулируется выделениями корней. Растительный мир находится в тесном взаимодействии с микробным сообществом, заселяющим почву. В процессе фотосинтеза до 20% всей запасенной энергии тратится растением на синтез и выделение питательных веществ (сахара, спирты, органические кислоты и др.) в прикорневую зону, что способствует развитию микроорганизмов [7]. Можно предположить, что комбинированное органоминеральное удобрение (КОМУ) многоцелевого назначения «Сапросил», соответствуя обозначенным выше требованиям, будет также способствовать ускорению процесса биодеструкции нефтепродуктов в почве путем стимуляции роста и усиления активности аборигенных штаммов почвенных нефтеокисляющих микроорганизмов, формированию в ней центров активной деструкции нефтяных углеводов благодаря сорбции на поверхности КОМУ редуцирующих нефтепродукты микроорганизмов, частичной сорбции поллютанта компонентами комбинированного удобрения.

Авторами были сформулированы исходные требования к комбинированному органоминеральному удобрению, предназначенному в комплексе с фиторемедиантами для биологической очистки от нефтепродуктов сельскохозяйственных земель. При подборе КОМУ, предназначенного для деструкции нефтяных углеводородов в почве, должны соблюдаться следующие основные требования:

- КОМУ должно быть предназначено для очистки от нефтепродуктов почв земель сельскохозяйственного назначения;

- природное происхождение компонентов КОМУ;

- доступность сырья в территориальном отношении;

- приемлемая стоимость компонентов мелиоранта;

- КОМУ должно являться нетоксичным материалом;

- продукт не должен вызывать нарушения экологического равновесия в экосистемах и не оказывать отрицательного воздействия на компоненты природной среды;

- продукт должен быть основан на использовании только отечественных природных материалов и препаратов (принцип эффективного импортозамещения);

- комбинированное органоминеральное удобрение должно быть способно выполнить функции органического удобрения, носителя макро- и микроэлементов;

- КОМУ должно стимулировать развитие фиторемедиантов;

- в результате действия КОМУ не должны угнетаться рост и развитие аборигенных микроорганизмов;

- положительное влияние мелиоранта на агрохимические свойства почвы;

- КОМУ должно выступить и в роли рыхлителя почвы (физического мелиоранта);

- недопущение, при использовании КОМУ, вторичного загрязнения очищаемой почвы поллютантами (содержание элементов и химических соединений в почве после внесения мелиоранта не должно превышать установленных гигиенических нормативов).

Таким образом, рабочая гипотеза исследований заключается в том, что значительное ускорения процесса деструкции нефтепродуктов в сильно загрязнённых почвах и восстановление их плодородия можно достичь на основе комплексного применения комбинированного органоминерального удобрения и фиторемедиантов. При этом дозы внесения в почву комбинированного органоминерального удобрения и сроки проведения реабилитационных мероприятий следует устанавливать на основе результатов многолетних экспериментальных исследований.

Список использованных источников

1. Абзалов, Р.З. Почвовосстанавливающая роль сельскохозяйственных культур и удобрений в зависимости от загрязнения почв нефтью / Р.З. Абзалов, А.З. Сахабутдинова, Р.С. Гумеров // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: Труды V Всесоюзного совещания (Обнинск, 12-15 янв. 1987 г.). - Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – С. 237-243.

2. Гашев, С.Н. Рекомендации по фитомелиорации нефтезагрязненных земель в Среднем Приобье / С.Н. Гашев, М.Н. Казанцева, А.В. Соромотин. – Тюмень: Тюменская ЛОС ВНИИЛМ, 1995. – 18 с.

3. Голованов, А.И. Введение в природообустройство: учебное пособие / А.И. Голованов, Ф.М. Зимин // 2-ое издание, переработанное и дополненное – М.: МГУП, 2003. – 63 с.

4. Давыдова, И.Ю. Глеогенез, деградация, экологическая оценка и ремедиация почв в районах нефтяной промышленности (на примере южно-таежной подзоны и лесостепной зоны Европейской территории России): автореферат диссертации доктора биологических наук: 03.00.27 – Почвоведение / И.Ю. Давыдова // МГУ: – Москва, 2005. - 51 с.

5. Давыдова, С.Л. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде: учебн. пособие для вузов / С.Л. Давыдова, В.И. Тагасов. - М.: изд-во РУДН, 2004. – 163 с.

6. Данчеев, Д.В. К проблеме использования органических отходов урбанизированных территорий при решении вопросов рационального природопользования / Д.В. Данчеев, А.В. Ильинский // Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК. Материалы международной научно-практической конференции. – М.: Изд. ВНИИГиМ, 2017. – С. 184-187.

7. Дорбалюк, Е.А. Почвенно-мелиоративные особенности переувлажнённых нефтезагрязнённых земель в черноземной зоне Центральной России: диссертация кандидата сельскохозяйственных наук: 03.02.13 – Почвоведение, 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель / Е.А. Дорбалюк // РГАУ – МСХА им. акад. К.А. Тимирязева. – М., 2011. – 151с.

8. Ильинский, А.В. К вопросу использования природных мелиорантов в биологическом методе утилизации нефтешламов применительно к региональным условиям / А.В. Ильинский, С.В. Перегудов, Г.В. Побединская // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. Материалы IV международной научной экологической конференции 24-25 марта 2015 г. Ч. I. – Краснодар: Кубанский госагроуниверситет, 2015. – С. 524–528.

9. Ильинский, А.В. К вопросу повышения эффективности проведения работ по реабилитации техногенно загрязнённых земель с помощью внедрения современной системы комплексного контроля / А.В. Ильинский, Д.В. Виноградов // АгроЭкоИнфо. – 2016, №3. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2016/3/st_320.doc.

10. Ильинский, А.В. О возможности использования биологической очистки почвогрунта, загрязнённого нефтепродуктами, применительно к условиям природовосстановительных работ крупного нефтеперерабатывающего предприятия / А.В. Ильинский, Л.В. Кирейчева, С.В. Перегудов // Перспективы и проблемы размещения отходов производства и потребления в агроэкосистемах: Матер. между. Науч.-практ. Конф. / НГСХА. – Н.Новгород: НИУ РАНХиГС, 2014. – С. 160–164.

11. Ильинский, А.В. Экологические аспекты загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами / А.В. Ильинский // Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства России (Костяковские чтения). Материалы международной научно-практической конференции 20-21 марта 2013 года. – М.: Изд. ВНИИА, 2013. – С. 274–277.

12. Ильинский, А.В. Экологические основы природопользования: учебное пособие / А.В. Ильинский, Д.В. Виноградов, Д.В. Данчеев // Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2017. – 128 с.

13. Киреева, Н.А. Продуктивность сельскохозяйственных культур на нефтезагрязненных и рекультивируемых почвах / Н.А. Киреева, Е.И. Новоселова, Г.Г. Кузяхметов // Экологические проблемы Республики Башкортостан. – Уфа: БГПИ, 1997. – С. 293-299.

14. Кирейчева, Л.В. Влияние новых органоминеральных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур и плодородие почв выработанных торфяников / Л.В. Кирейчева, Р.Р. Хусин, В.М. Яшин, Т.А. Жилкина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 3-3 (57). – С. 123–125.

15. Кирейчева, Л.В. Исследования пролонгированного действия органо-минерального удобрения «Сапросил» и его влияние на урожай овса / Л.В. Кирейчева, В.М. Яшин, А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова К.Н. Евсенкин // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования. II Международная научно-практическая Интернет-конференция / Составление Н.А. Щербакова /ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия». – с. Соленое Займище. - 2017. – С. 1070-1075.
16. Кирейчева, Л.В. Обоснование использования удобрительно-мелиорирующей смеси на основе торфа и сапропеля для повышения плодородия деградированных почв / Л.В. Кирейчева, А.В. Нефедов, К.Н. Евсенкин, А.В. Ильинский, Д.В. Виноградов, Н.А. Иванникова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 3 (31). – С. 12–17.
17. Кирейчева, Л.В. Эффективность применения органоминеральных удобрений на основе сапропеля / Л.В. Кирейчева, В.М. Яшин // Агрехимический вестник. – 2015. – Т.2. – № 2. – С. 37–38.
18. Нейтрализация загрязненных почв: монография / под ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. – 528 с.
19. Пат. 2566684, Российская Федерация, МПК С 05 F 7/00 (2006.01). Многокомпонентное органоминеральное удобрение / Вазыхов И.Т, Кирейчева Л.В., Пуховская Т.Ю., Павлов В.Ю.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Торгово-производственная компания «Камский сапропель», ООО ТПК «Камский сапропель». - № 2014146486/13; заявл. 20.11.14; опубл. 27.10.15. – 5 с. : ил.
20. Пиковский, Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде / Ю.И. Пиковский. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 208 с.
21. РД 39-0147098-015-90. Руководящий документ. Инструкция по контролю за состоянием почв на объектах предприятий Миннефтегазпрома. – Уфа, 1990. – 57 с.
22. Практика рекультивации загрязненных земель / Под ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. – 604 с.
23. Самосова, С.М. Изыскание путей стимуляции биodeградации нефти в почве / С.М. Самосова, В.М. Филипчикова // Микробиологические методы борьбы с загрязнением окружающей среды: Тезисы докладов. - Пушино, 1979. – С. 134.
24. Сельмен, В.Н. Перспективы использования органоминеральных удобрений, полученных на основе осадков сточных вод / В.Н. Сельмен, А.В. Ильинский // Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК. Материалы международной научно-практической конференции. – М.: Изд. ВНИИГиМ, 2017. – С. 225-228.
25. Терещенко, Н.Н. К вопросу о рациональном применении минеральных удобрений для ускорения микробиологической деструкции нефтяных углеводородов в почве / Н.Н. Терещенко, С.В. Лушников // IV Международный симпозиум «Контроль и реабилитация окружающей среды»: Материалы симпозиума. - Томск, 2004. - С. 117-119.
26. Cunningham, S.D. Phytoremediation of contaminated soils / S.D. Cunningham, W.R. Berti, J.W. Huang // Trends Biotechnol. - 1995. - №9. - P. 393-397.

УДК 631.6; 502/504; 004.9

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫБОРА СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОРОСИТЕЛЬНЫХ И ДРЕНАЖНО-СБРОСНЫХ ВОД ПРИ СОЗДАНИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Лентяева Е.А., Федотова И.В.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В статье представлены результаты научно-исследовательской работы по разработке информационного обеспечения выбора структурных элементов управления качеством оросительных и дренажно-сбросных вод при создании оросительных систем нового поколения. Предложена структура информационного обеспечения и разработаны требования к его составным элементам. Разработаны схемы информационной поддержки принятия решения по обоснованию технических элементов водоподготовки оросительной воды и очистке дренажно-сбросных вод.

Ключевые слова: ВОДОПОДГОТОВКА, ДРЕНАЖНО-СБРОСНЫЕ ВОДЫ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ, ОРОСИТЕЛЬНАЯ ВОДА, ОЧИСТКА, ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ.

ВВЕДЕНИЕ

На начальных этапах проектирования мелиоративных систем нового поколения и при реконструкции уже существующих, особую актуальность приобретают вопросы снижения водозабора для нужд орошаемого земледелия и контроля качества оросительных и дренажно-сбросных вод, что может быть реализовано путем включения в их состав новых конструктивных элементов и технических решений [1,2].

В составе исследований разработаны требования к созданию автоматизированных технологий информационной поддержки решений по выбору структурных элементов управления качеством оросительных и дренажно-сбросных вод и планированию мероприятий технической эксплуатации оросительных систем нового поколения.

Выявлена необходимость включения в структуру оросительных систем дополнительных технических элементов по подготовке оросительной воды и очистке дренажно-сбросных вод. Предложен качественно новый подход к водоподготовке или водоочистке на основе использования достижений наилучших доступных технологий для рассматриваемой области воздействующих мероприятий управления. Разработаны требования к основным структурным элементам информационной технологии для повышения эффективности водопользования за счет улучшения качества дренажно-сбросных вод. Разработан алгоритм ин-

формационной поддержки принятия решения по обоснованию технических элементов водоподготовки оросительных и дренажно-сбросных вод мелиоративных систем нового поколения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Основная цель исследований заключается в разработке информационного обеспечения проектирования и эксплуатации оросительных систем нового поколения по обеспечению качества дренажно-сбросных и оросительных вод. Методической основой работы являлись: изучение, анализ, обобщение существующей научной, технической и нормативно-методической информации [3,4].

С целью формирования базы данных информационного обеспечения выбора структурных элементов управления качеством оросительных и дренажно-сбросных вод при создании оросительных систем нового поколения был произведён аналитический обзор разработанных технологий и технических решений по водоподготовке оросительной воды и очистке дренажно-сбросных вод.

Рассмотренные технологии и технические решения направлены на ликвидацию следующих видов загрязнения поверхностных и дренажно-сбросных вод:

- физического загрязнения, обусловленного воздействием загрязнителей, изменяющих физические свойства водной среды (цветность, температура, мутность, радиоактивность и т.д.).

- химического загрязнения, повышенных по сравнению с фоновыми концентрациями содержания химических веществ в воде.

- биологического загрязнения обусловлено повышенным содержанием микроорганизмов.

Для условий орошения химический состав воды и общее содержание солей имеет важное значение, поскольку оказывает воздействие на физико-химические свойства почвы, изменение которых может спровоцировать процессы засоления, деградацию и как следствие снижение ее продуктивности.

Дренажно-сбросные воды в основном имеют минерализацию близкую к минерализации оросительной воды, однако они являются источником загрязнения биогенами, остатками минеральных удобрений, пестицидами и тяжелыми металлами.

Для водоподготовки оросительной воды и очистки дренажно-сбросных предлагается использование биологических, биохимических, физико-химических, химических, аэробных и анаэробных процессов.

Основные способы по регулированию химического состава и свойств воды приведены на рисунке 1 [5].

В базу данных информационной технологии требуется внесение наиболее распространенных в области мелиорации способов обработки и очистки воды, а именно:

- механических;
- физико-химических (опреснение, сорбционная очистка);
- биологической и биохимической очистки.



Рисунок 1 - Способы регулирования химического состава и свойств воды

В информационную базу не вносятся технологии, обеспечивающие только механическую очистку воды, поскольку механические фильтры практически всегда предусматриваются в комплексе с основным очистным сооружением, как первая ступень обработки воды.

Выбор необходимых технических элементов водоподготовки оросительной воды или очистки дренажно-сбросных вод для оросительных систем нового поколения на стадии проектирования или реконструкции производится на основе:

- анализа социально-экономических и природных условий;
- экологической обстановки;
- долгосрочных прогнозов изменения природной среды в результате антропогенного воздействия;
- инженерных технико-экономических расчетов, бассейновых и территориальных схем охраны и рационального использования природных ресурсов. Исходные данные по своему составу и структуре должны обеспечивать полноту характеристик, условий и параметров, необходимых для обоснованного принятия качественного решения.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований были установлены приоритетные направления информационной поддержки решений по созданию и эксплуатации оросительных систем нового поколения. Поддержка принятия решений заключается в технологическом и информационном обеспечении лица, принимающего решение (ЛПР). Информационная технология обоснования структурных элементов управления качеством оросительных и дренажно-сбросных вод при создании оросительных систем нового поколения должна обеспечить:

- сбор и обработку первичной информации, анализ исходной ситуации;
- помощь ЛПР при анализе объективной составляющей процесса управления, т.е. в понимании и оценке сложившейся ситуации и ограничений, накладываемых внешней средой;
- выявление предпочтений ЛПР, т.е. выявление и ранжирование приоритетов, учёт неопределённости в оценках ЛПР и формирование его предпочтений;

- генерацию возможных решений, т.е. формирование списка альтернатив;
- оценку возможных альтернатив, исходя из предпочтений ЛПР и ограничений, накладываемых внешней средой;
- анализ последствий принимаемых решений;
- выбор лучшего, с точки зрения ЛПР варианта.

Информационная технология должна содержать следующие компоненты: источники данных, модель данных, база моделей и программная подсистема, которая состоит из системы управления базой данных (СУБД), системы управления базой моделей (СУБМ) и системы управления интерфейсом между пользователем и компьютером [Юрченко]. Общая схема информационной технологии принятия решения представлена на рисунке 2[6].

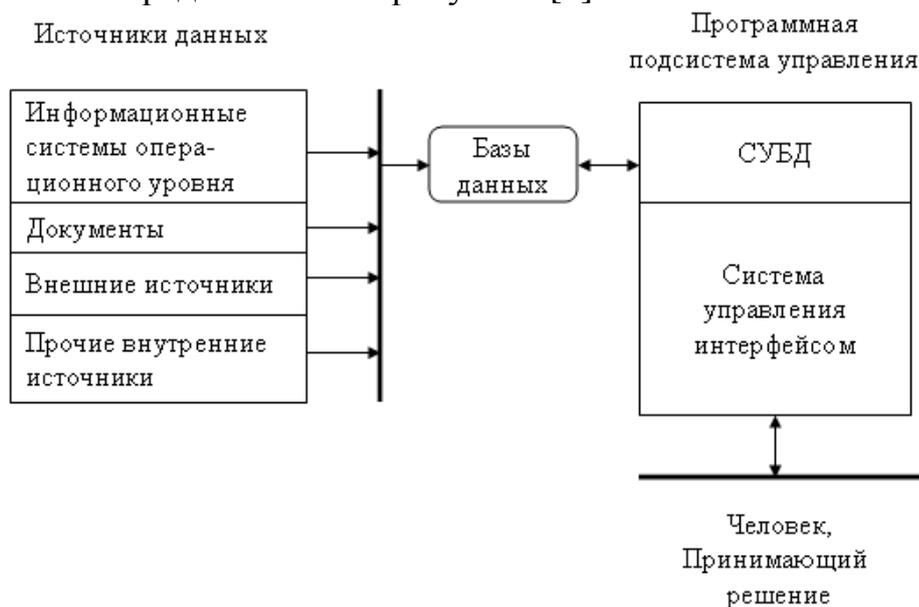


Рисунок 2- Основные компоненты информационной технологии поддержки принятия решений

Исходные данные формируются в соответствии с требованиями к выбору конкретной технологии водоподготовки, а также определяются изначальной концепцией, в соответствии с которой будет производиться принятие решения и разработка проекта. Предложена общая структура исходных данных, позволяющая принять решение при выборе технологии водоподготовки оросительной и/или очистки дренажно-сбросных вод, представлена на рисунке 3.

Распределение (дифференцирование) исходной информации по блокам информационной технологии выбора технических решений по водоподготовке оросительной воды и очистке дренажно-сбросных вод представлено в таблице 1.

В базу данных закладывается нормативно-методическая информация по обеспечению качества оросительных и дренажно-сбросных вод, включающие данные из СНиПов, ГОСТов, Методических рекомендаций и т.п. [7-16].

Разработан алгоритм выбора технических решений по водоподготовке или водоочистке в соответствии с требованиями к качеству оросительной воды, согласно критериям нормативно-методической базы. Схемы информационной

поддержки принятия решения по обоснованию технических элементов водоподготовки оросительной и дренажно-сбросных вод приведены на рисунках 4,5 соответственно.

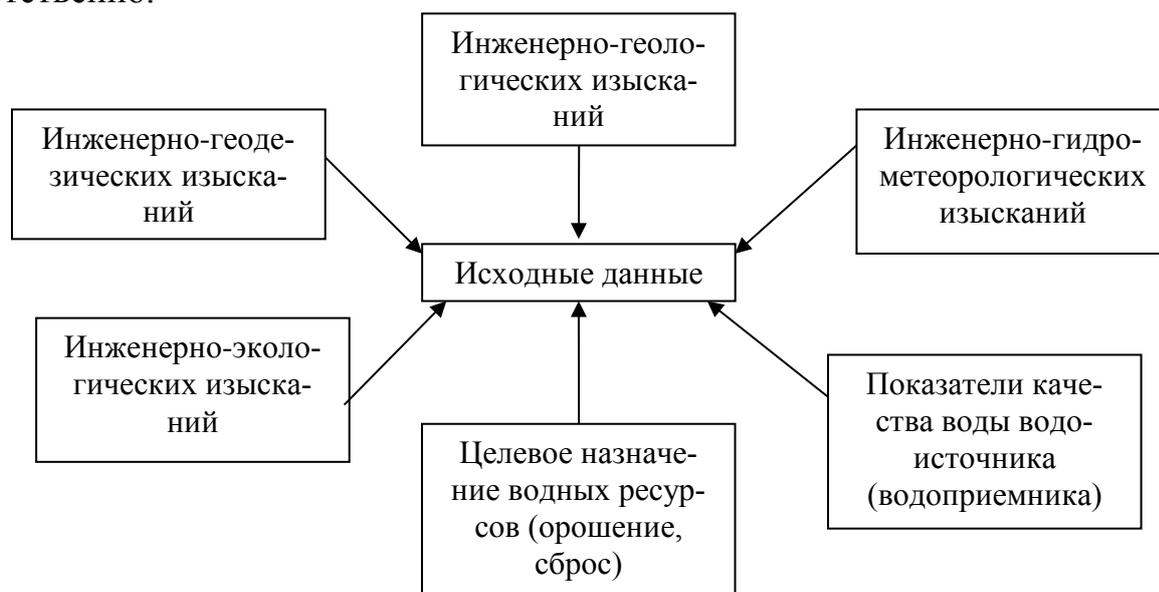


Рисунок 3 – Структура блока исходных данных

Таблица 1 - Распределение (дифференцирование) исходной информации по блокам информационной технологии выбора технических решений водоподготовки оросительной воды и очистки дренажно-сбросных вод

Исходные данные	Подготовка оросительной воды	Очистка дренажно-сбросных вод
Инженерно-геодезические и инженерно-геологические изыскания	Получение сведений, необходимых для выбора экономически целесообразного и технически обоснованного местоположения сооружения, его возможных габаритов и формы очистных сооружений	
Инженерно-гидрометеорологические изыскания (расход водного объекта, вид регулирования, водообеспеченность общая и в оросительный период)	Оценка водообеспеченности на орошении, и выявление необходимости дополнительных источников в составе очистных сооружений	Выявление необходимости или возможности дополнительного регулирования водного объекта
	Определение необходимой производительности очистного сооружения	
Инженерно-экологические изыскания	Предупреждения развития нежелательных экологических последствий при строительстве сооружений	
Целевое назначение – орошение: Агротехнические и агробиологические условия (тип орошения, виды сельскохозяйственных культур, вероятность	Ввод дополнительных ограничений по качеству оросительной воды в зависимости от агротехнических и агробиологических условий	Нормирование качества дренажно-сбросных вод в зависимости от вида их дальнейшего целевого назначения

Исходные данные	Подготовка оросительной воды	Очистка дренажно-сбросных вод
засоления или осолонцевания почв)		
Показатели качества воды водного объекта (водоисточника или водоприемника)	Выбор методов подготовки оросительной воды по конкретным параметрам	Выбор способов очистки дренажно-сбросных вод в зависимости от типа загрязнения

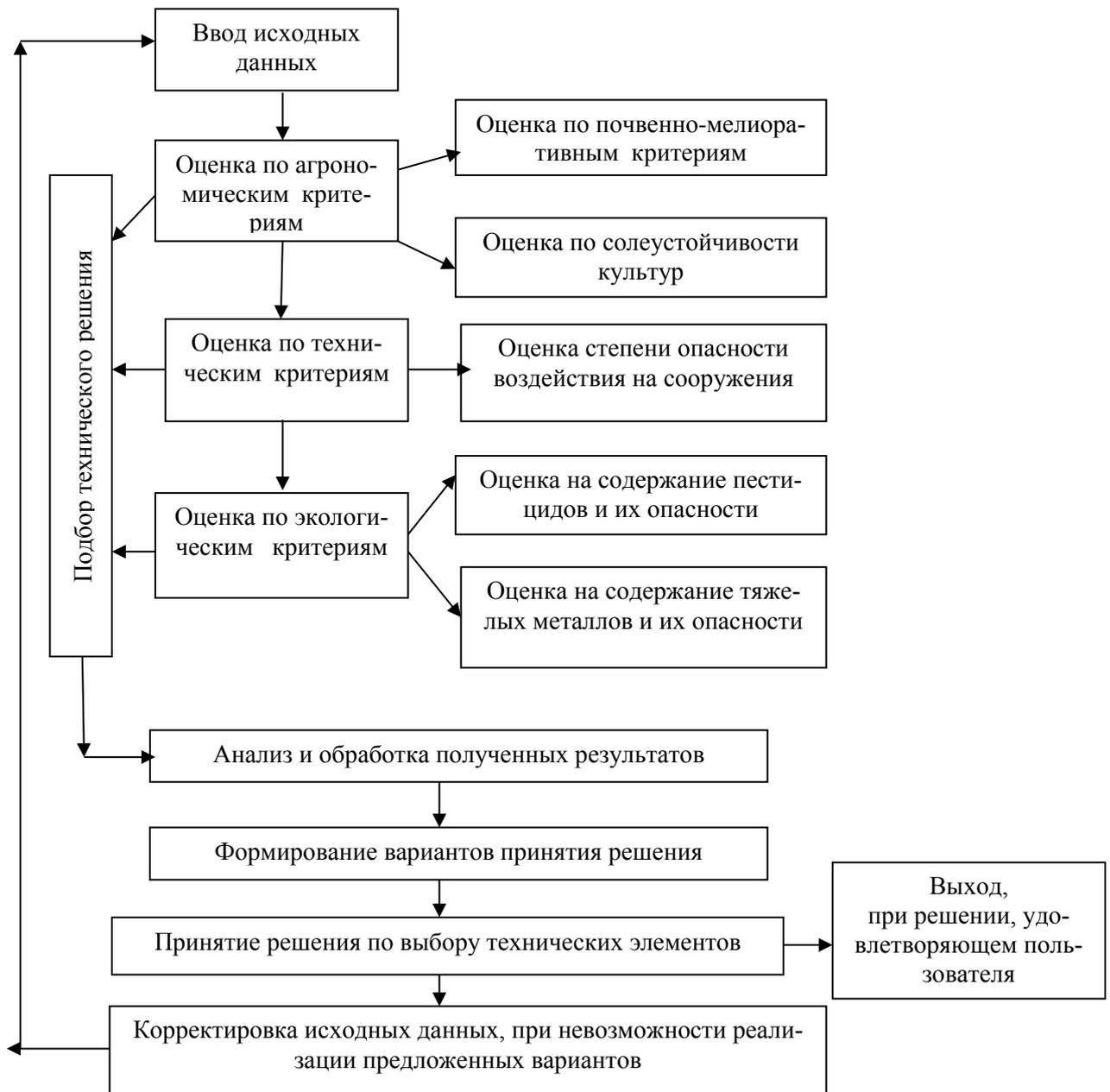


Рисунок 4 - Схема информационной поддержки принятия решения по обоснованию технических элементов водоподготовки оросительной воды

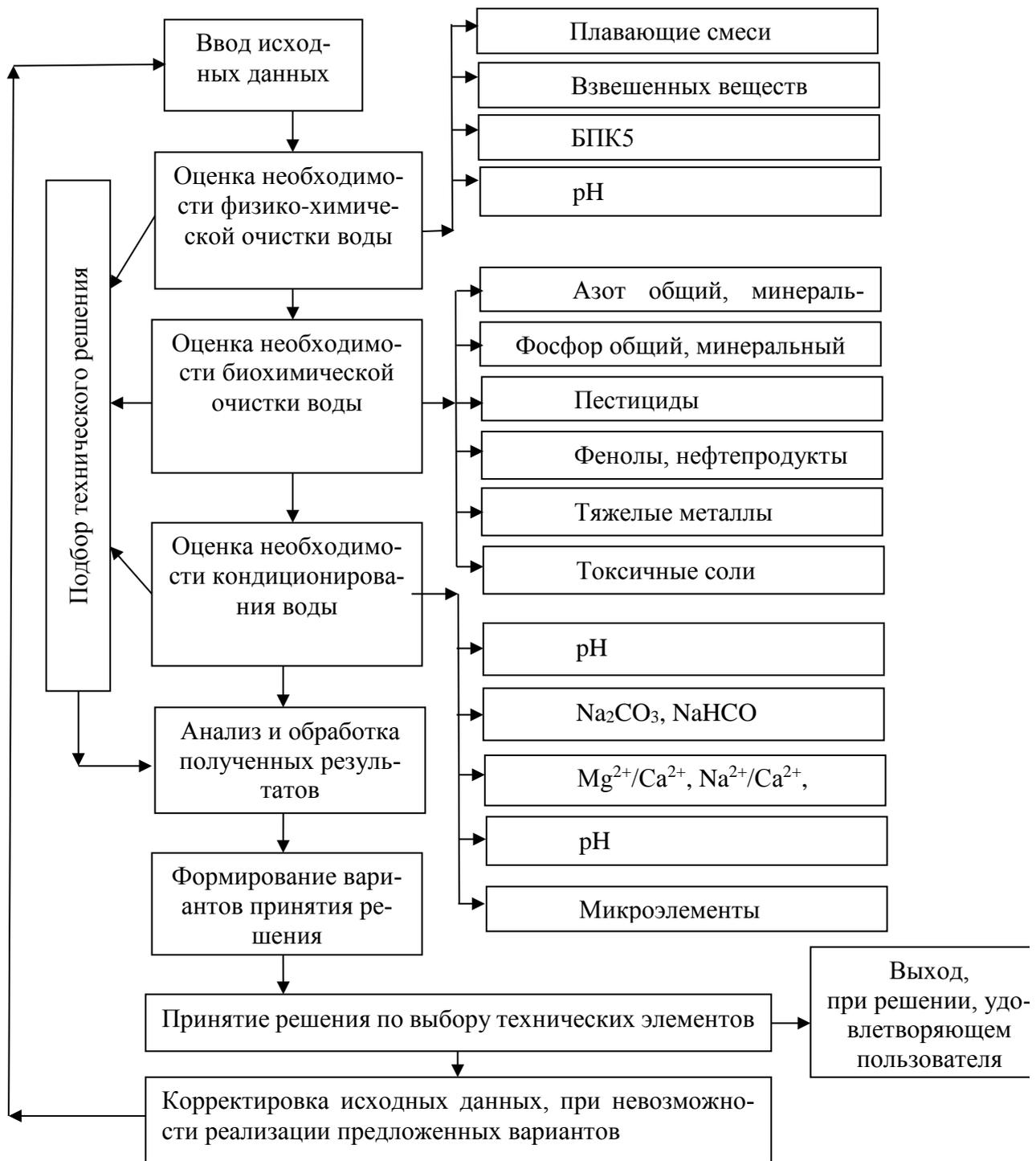


Рисунок 5 - Схема информационной поддержки принятия решения по обоснованию технических элементов водоочистки дренажно-сбросных вод

Источником базы данных технических решений по обеспечению качества дренажно-сбросных и оросительных вод был патентный поиск и Каталог перспективных ресурсоэкономичных технологий [17]. При принятии решения о включении существующей технологии в базу знаний отбор производился согласно требованиям, предъявляемым к наилучшим доступным технологиям нормативно-правовой и нормативно – методической документации. Согласно

Приказу Минпромторга России от 31.03.2015 N 665 "Об утверждении Методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной" [18] такие технологии:

- обеспечивают наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду;
- экономическую эффективность внедрения и эксплуатации;
- применение ресурсо- и энергосберегающих методов;
- незначительный период внедрения;
- прошли этапы промышленного внедрения технологических процессов, оборудования, технических способов, методов на 2 и более объектах в РФ, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Список использованных источников

- 1 Лентяева Е.А., Федотова И.В. Обоснование необходимости включения технических элементов в состав мелиоративных систем нового поколения для очистки воды / Материалы Международной Конференции «Костяковские чтения» Москва, 2017. С. 69-72.
2. Кирейчева Л.В., Юрченко И.Ф. и др. Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России. Монография. Москва. 2017. 295 с.
- 3 Кирейчева Л.В. Экологические принципы создания совершенных мелиоративных систем // Природообустройство. 2017. № 5. С. 70-75.
- 4 Кирейчева Л.В. Основные направления снижения антропогенной нагрузки на водные объекты за счет уменьшения сброса дренажных вод с мелиорируемых территорий // Природообустройство. 2015. № 5. С. 64-69.
- 5 Безднина С.Я. Экологические основы водопользования. М. 2005. 224с.
- 6 Отчет о НИР «Разработать информационное обеспечение создания и эксплуатации оросительных систем нового поколения». Москва 2017, 254с.
- 7 ГОСТ 17.1.2.04-77 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов.
- 8 Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N 552Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения Зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 13.01.2017 N 45203.
- 9 ГОСТ 17.1.5.02-80 ОХРАНА ПРИРОДЫ ГИДРОСФЕРА ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗОНАМ РЕКРЕАЦИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 25 декабря 1980 г. N 5976
- 10 СанПиН 2.1.5.980-00 2.1.5. ВОДООТВЕДЕНИЕ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ, САНИТАРНАЯ ОХРАНА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ Гигиенические требования к охране поверхностных вод Дата введения 2001-01-01
- 11 Безднина С.Я. Экологические основы водопользования. М. 2005. 224с.
- 12 ГОСТ 17.1.2.03-90 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения
- 13 Безднина С.Я. Качество воды для орошения. Принципы и методы оценки. М.: издательство «РОМА», 1997. – 185 с.
- 14 Руководство по проектированию строительства и эксплуатации систем капельного орошения» ВТР-11-28-81
- 15 Методические рекомендации по мероприятиям для предотвращения и ликвидации загрязнения агроландшафтов тяжелыми металлами М. 2005

16 СанПиН 2.1.4.559-96 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества

17 Каталог перспективных ресурсноэкономичных технологий и технических средств для очистки дренажных и сбросных вод гидромелиоративных систем. 2007 г.

18 Приказ Минпромторга России от 31.03.2015 N 665 «Об утверждении Методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной».

УДК: 631.674.5:504.064.36

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ ПОЧВЫ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Лытов М.Н.

ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, г. Москва, Россия

Оптимальное управление водным режимом почвы является основной задачей водных мелиораций. Само понятие оптимальности водного режима почвы было и остается актуальной проблемой мелиоративной науки, решению которой посвящены работы [5-6] и других выдающихся ученых. В качестве критерия оптимальности использовались различные показатели, включая повышение результативности производства и экономического эффекта от мелиораций, обеспечение рационального использования водных ресурсов, предотвращение деградационных процессов и расширенное воспроизводство почвенного плодородия. Процессы, определяющие плодородие почвенного покрова мелиорированных земель, признаны стратегическим критерием эффективности водных мелиораций, определяющего возможность длительного, эффективного использования главного средства сельскохозяйственного производства. Полученные результаты сегодня позволяют связать потребность в орошении с агроклиматическими особенностями регионов и динамическими характеристиками энергетических ресурсов атмосферы, видом, фазой развития и особенностями продукционного процесса сельскохозяйственных культур, гидрологическими особенностями орошаемых территорий, особенностями почвенного покрова, динамикой и направленностью почвообразующих процессов. Использование при этом систем реального времени является новейшим общемировым трендом развития агротехнологий, обеспечивающих своевременное выполнение и строгий контроль исполнения важнейших технологических операций [7-10]. Создание геоинформационных систем управления орошением является следующим шагом развития технологий реального времени, позволяющих наиболее полно раскрыть их инновационный потенциал.

Работа Волгоградского филиала ВНИИГиМ в этом научном направлении направлена, в первую очередь на разработку структурной модели и создание современных алгоритмов управления водным режимом почвы на основе ГИС-технологий. Исследованиями впервые ставится задача совокупного учета пространственных неоднородностей объекта управления и пространственно-динамической вариабельности режимов работы технических систем для проведения

водных мелиораций на основе дистанционного, автоматизированного мониторинга в режиме реального времени.

Получены следующие, наиболее важные результаты, среди которых в первую очередь нужно выделить следующие:

1. Разработана структурно-функциональная модель геоинформационной системы управления орошением. Центральным звеном геоинформационной системы управления орошением является геопозиционный контроль и систематизированные в форме электронной карты геоданные (рис. 1).

Объектом управления в предложенной структурной модели геоинформационной системы управления орошением является водный режим почвы, рассматриваемый как динамическая совокупность водных состояний почвы в пространственно-временном континууме. Наряду с этим предложен и обобщенный вариант представления объекта управления, учитывающий технические и технологические возможности современной оросительной техники, в частности, в плане комплексного воздействия на микроклимат посевов, внесения с раствором минеральных удобрений, пестицидов, мелиорантов. Предложенная модель предполагает ранжирование объектов управления в соответствии с приоритетом целевой функции.

Ядром предложенной модели геоинформационной системы является электронная карта с ассоциируемыми базами данных. Формирование ассоциируемых баз данных по методам получения исходной информации функционально разделено на исследование объекта управления и мониторинг объекта и технической системы управления.

Результаты исследования объекта управления, а также данные мониторинга согласно предложенной модели используются для создания нового информационного слоя, либо для актуализации имеющихся слоев данных.

Необходимый минимум исследований для эффективного управления водным режимом почвы включает:

- геоориентированную оценку агрофизических свойств почвы;
- оценка гидрогеологического окружения объекта управления;
- геоориентированная оценка мелиоративного состояния;
- геоориентированная оценка рельефа;

При расширении объекта управления в сторону регулирования пищевого режима почвы необходимым исследованием будет являться геоориентированная оценка содержания питательных веществ в почве. При расширении объекта управления в сторону решения задач защиты растений необходимым исследованием является геоориентированная оценка распространения сорной растительности, болезней и вредителей.

Подсистема мониторинга в режиме реального времени ориентирована на:

- контроль влажности почвы;
- контроль давления воды в системе;
- контроль расхода воды;
- контроль параметров дождевого облака;
- контроль подачи растворов с поливной водой.

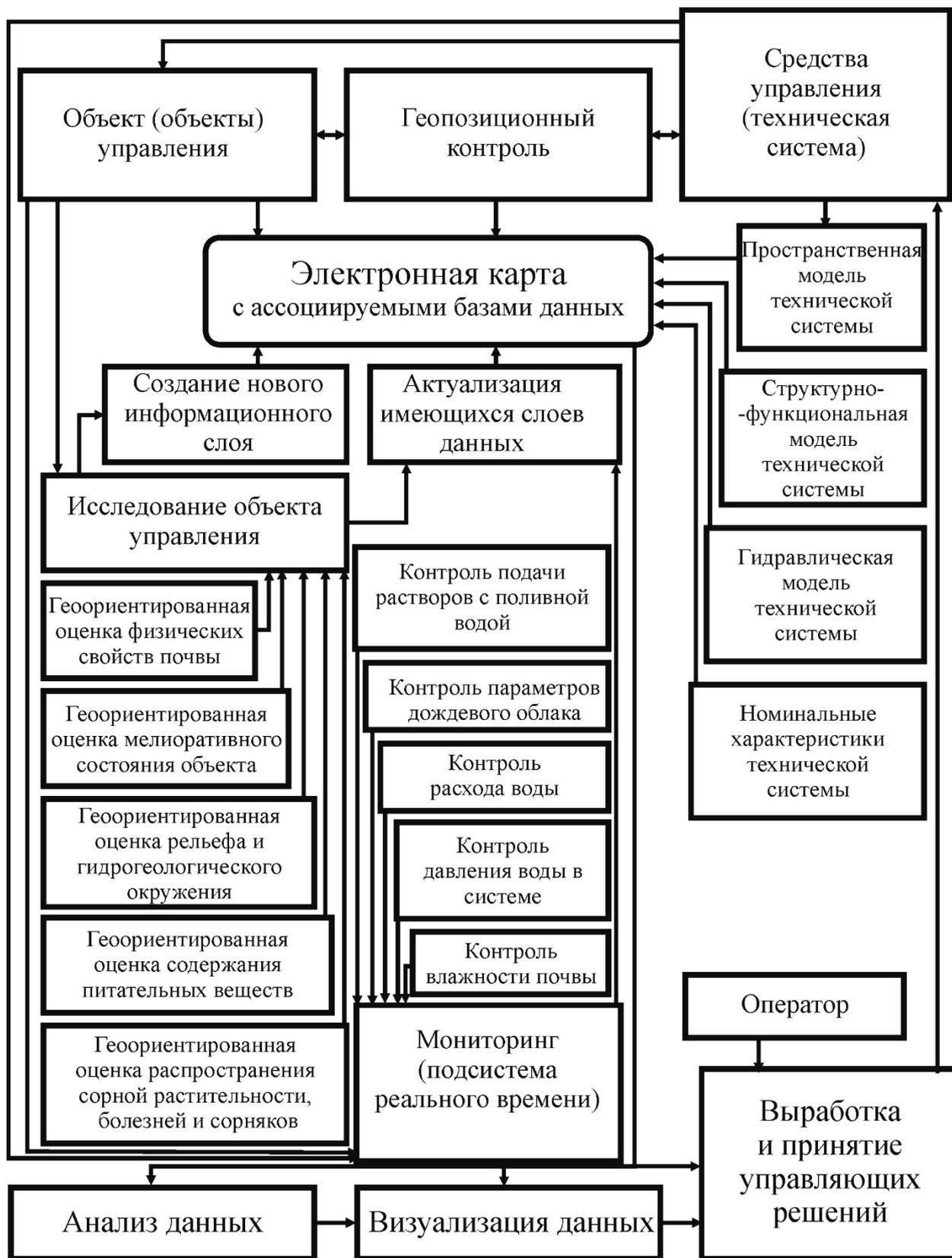


Рисунок 1 - Структурная модель геоинформационной системы управления орошением

Все рассмотренные выше компоненты образуют основу геоинформационной системы управления орошением и обеспечивают:

- координатную модель пространственных данных в границах рассматриваемого участка;
- геопозиционный контроль оросительной техники и координатную привязку данных об объекте управления;
- пространственное, качественное и количественное описание технической системы (оросительной техники и вспомогательных технических модулей);
- пространственное, качественное и количественное описание объекта управления;
- систематическую актуализацию слоев данных об объекте управления, состоянии и режимах работы технической системы;

2. Раскрыты функциональные взаимосвязи в системе «анализ-визуализация данных-принятие решений» геоинформационной системы управления орошением. Предложенная модель геоинформационной системы управления орошением предполагает следующие принципиальные решения по структуре блока анализа данных. Главным продуктом блока анализа данных на геоинформационной основе управления орошением является карта полива. В общем случае карта полива составляется на основе геоориентированной оценки потребности в оросительной воде и геоориентированной оценки ограничений, преимущественно, экологического характера. Кроме основной функции - составления карты полива модуль анализа данных геоинформационной системы управления орошением должен обеспечивать выполнение:

- гидродинамического анализа технической системы;
- анализ технического состояния;
- анализ режимов работы системы;
- решение оптимизационной задачи.

Результаты анализа данных передаются в функциональный модуль визуализации данных и, одновременно, - в модуль выработки и принятия управленческих решений. Блок визуализации данных обеспечивает интерактивное взаимодействие с оператором технической системы.

В модуле выработки и принятия управленческих решений количественный и качественный анализ поступивших данных ведется на основе сравнения вычисленного комплекса критериев с областями значений критериев, соответствующих принятию того или иного управленческого решения. Минимальный набор управляющих действий системы сводится к следующему: полив; выбор скорости движения; активизация режима пространственной дифференциации интенсивности полива; выбор схемы пространственного дифференцирования интенсивности полива; активизация режима холостого хода; останов машины; аварийный останов.

3. Разработан алгоритм учета пространственной неоднородности исходных характеристик орошаемого участка на основе ГИС-технологий. Исходной информацией для выделения относительно однородных территориальных образований, - единиц управления, являются пространственно-организованные ряды

количественных, либо качественных показателей-характеристик объекта управления. Последовательность обработки вариативных рядов показателей-характеристик объекта управления согласно предложенной схеме включает:

- алгоритм перебора показателей-характеристик объекта управления;
- алгоритм группировки данных последовательного ряда пространственных измерений;
- вычисление статистических характеристик сгруппированных данных последовательности;
- численное сравнение фактических и допустимых значений показателей variability внутри групп данных.

4. Предложены два метода обследования участка на предмет выделения территориальных единиц управления, основанных на реализации технологии сплошного учета и диагональных измерений прямоугольных структур.

5. Рассмотрен вариант реализации аппаратной составляющей мониторинга геоинформационной системы управления орошением на примере мобильного агрометеокомплекса. Предлагаемая технология предусматривает использование программно-аппаратного комплекса для полевых измерений, средств телеметрии для передачи данных на удаленный терминал и обработку полученных данных. Измеряются следующие агрометеопараметры: температура и влажность приземного слоя атмосферы и корнеобитаемого слоя почвы, давление воздуха и солнечная радиация. В мобильном измерительном комплексе организовано взаимодействие с системами глобального позиционирования, сотовой связью и сетью Интернет.

В совокупности полученные результаты составляют концептуальную основу геоинформационных систем управления орошением в режиме реального времени. В рамках разрабатываемых гидромелиоративных систем нового поколения использование предлагаемых решений позволит перейти к реализации новой, перспективной технологии координатного орошения, будет способствовать повышению эффективности использования водных ресурсов, предотвращению деградационных процессов и сохранению почвенного плодородия, увеличению продуктивности орошаемых сельскохозяйственных земель.

Список использованных источников

1. Костяков, А.Н. Основы мелиорации / А.Н. Костяков – М.: Сельхозгиз, 1960. – 621 с.
2. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель: рекомендации / Айдаров И.П., Голованов А.И., Никольский Ю.Н.. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – 60 с.
- 3 Шабанов, В.В. Биоклиматическое обоснование мелиорации /В.В.Шабанов // Почвоведение. – 1975. – № 10. – С. 140-141.
4. Кружилин, И.П. Плодородие светло - каштановых почв при водосберегающем орошении /И.П. Кружилин, А.Г. Болотин, А.А. Бекмаметов // Плодородие. – 2009. – № 6. – С. 34-35.
5. Дубенок, Н.Н. Особенности водного режима почвы при капельном орошении сельскохозяйственных культур /Н.Н.убенок, В.В. Бородычев, М.Н.Лытов, О.А. Белик// Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 4. – С. 22-25.

6. Глобус, А.М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей /А.М. Глобус Ленинград, 1987.-427 с.

7. Бородычев, В.В. Мониторинг и управление орошением в режиме реального времени /В.В. Бородычев М.Н. Лытов, Е.Э. Головинов. –Москва: изд.: "Механизация и электрификация сельского хозяйства», 2017. – 154 с.

8. Бородычев, В.В. Геопозиционный синтез мониторинговых данных и возможности их использования в режиме реального времени /В.В. Бородычев, М.Н. Лытов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 1 (41). – С. 168-177.

9. Бородычев, В.В. Обобщенная модель автоматизированной информационной системы мониторинга и управления орошением в режиме реального времени /В.В. Бородычев, М.Н. Лытов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 1 (45). – С. 161-170.

10. Мухопад, А.Ю. Синтез надежных автоматов для систем реального времени/А.Ю.Мухопад// Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – № 12-1. – С. 116-119.

УДК 631.67452

ГИДРОМЕЛИОРАТИВНАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНОГО, ВОЗДУШНОГО И ПИТАТЕЛЬНОГО РЕЖИМОВ САДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Дубенок Н.Н.¹, Майер А.В.²

¹РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия;

²ВФ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград, Россия

В условиях сухостепной зоны Юга России, где характерно постоянное воздействие засух и суховеев, незначительное выпадение осадков, возможно получение высоких урожаев и качественной продукции садовых культур путем использования новых технологий внутрипочвенного, капельного орошения и регулирования микроклимата.

In the conditions of region, risky agriculture of the South of Russia where constant influence of droughts and dry winds, insignificant loss of deposits is characteristic, reception of big crops and qualitative production of agricultural crops by use of new technologies of a drop irrigation and microclimate regulation is possible.

Ключевые слова: ОРОШЕНИЕ, НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ, КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА, МИКРОКЛИМАТ, РЕГУЛИРОВАНИЕ

Keywords: IRRIGATION, NEW TECHNOLOGIES, THE PERFECTION, THE COMBINED SYSTEM, A MICROCLIMATE, REGULATION

Производство сельскохозяйственной продукции в нашей стране ведется в сложных почвенно-климатических условиях. В засушливой степной и полупустынных зонах Нижнего Поволжья, с их высокой температурой воздуха, низкой влагообеспеченностью, обильным приходом солнечной радиации, устойчивое возделывание сельскохозяйственных культур - возможно только при орошении.

Постоянно возрастающий дефицит пресной воды и растущие цены на электроэнергию обуславливают дальнейшее расширение орошаемого земледелия на основе внедрения новых ресурсосберегающих технологий и способов орошения, которые позволяют повысить продуктивность орошаемого гектара и эффективность использования поливной воды.

На современном этапе совершенствования технологии орошения в системе «среда-растение» созданы благоприятные условия для возделывания сельскохозяйственных культур. Факторы, воздействующие на рост и развитие растений, не могут быть обеспечены применением одного какого-либо способа полива и требуют их объединения для совместного проведения или - же чередования в течение периода вегетации различных способов орошения.

К современным технологиям орошения относятся, в частности, способы внутрипочвенного и капельного орошения. Особенностью этих способов орошения является реализация технической возможности дозированной подачи поливной воды непосредственно в зону питания каждого растения. Объединение капельного, внутрипочвенного орошения и мелкодисперсного дождевания позволит в сухие, и особенно в острозасушливые годы поддерживать необходимый поливной режим почвы и повысить влажность окружающего воздуха на 14...23%, понизить его температуру на 4...7 °С, что, несомненно, благоприятно скажется на урожайности возделываемой продукции [1, 2, 6, 7].

Решение вопросов внедрения, в практику сельскохозяйственного производства рассматриваемых способов внутрипочвенного (ВПО), капельного орошения (КО) и мелкодисперсного дождевания (МДД) путем их объединения с целью устранения взаимных недостатков определило направление наших исследований на разработку и создание комбинированной системы орошения (КСО), отвечающую ресурсосберегающим технологиям и требованиям экономической безопасности (табл. 1).

При совмещении способов орошения КО и МДД можно получить хорошие перспективы развития при возделывании плодово-садовых культур.

Для решения задачи в подборе дождеобразующей низконапорной установки, способной создать искусственный дождь высокого качества при низком давлении воды, порядка 0,01 - 0,02 МПа, нами предложена стационарная установка для проведения МДД на базе существующей многофункциональной системы орошения [3, 10]. Такая система позволяет осуществить двойное регулирование влажности почвы (КО+ВПО) и мелкодисперсное дождевание.

Двойное регулирование влажности почвы реализуют системой комбинированного орошения, которая включает в себя следующие конструктивные механизмы и комплектующие элементы: открытый или закрытый водозабор, электронасос для забора поливной воды, песчано-гравийный фильтр с гидроциклоном для очистки воды, гидроподкормщик, подводящий магистральный и распределительные трубопроводы, поливной трубопровод, закольцованные трубопроводы с капельницами. На поливных и закольцованных капельных трубопроводах посредством крепежных адаптеров монтируются мягкие полихлорвиниловые (ПВХ) трубки для подачи поливной воды (рис 1).

Таблица 1 - Основные назначения различных способов орошения

Способ орошения	Увлажнение почвы	Увлажнение воздуха	Влагозарядка	Промывка от солей	Внесение удобрений	Внесение ростовых веществ	Терморегуляционное увлажнение растений	Провокационные поливы для роста сорняков	Противозаморозковые поливы
КО МДД +	+	+	+	-	+	+	+	+	+
Капельное	+	-	-	-	+	-	-	-	-
МДД	х	+	х	-	-	+	+	х	+
Дождевание	+	х	+	-	+	-	+	+	х
ВПО	+	-	-	-	+	-	-	-	-
Поверхностное	+	х	+	+	х	-	-	+	-

Примечание: « + » - обеспечивает; « - » - не обеспечивает; « х » - частично применимо

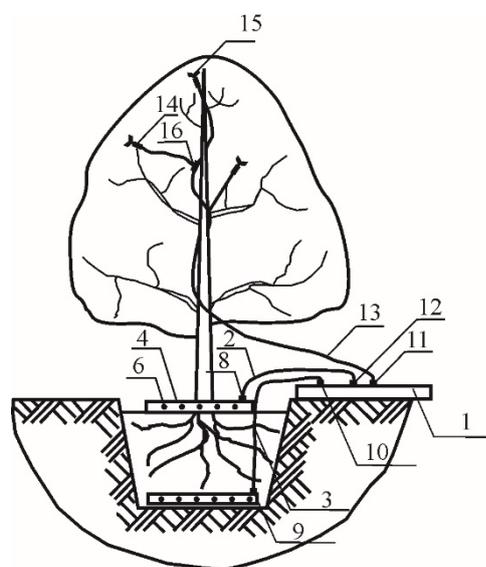


Рисунок 1 - Элементы напорной комбинированной системы для регулирования влажности почвы капельным и внутрпочвенным орошением в сочетании с мелкодисперсным дождеванием для регулирования фитоклимата:

1 – поливной трубопровод, 2 – поливная трубка К.О., 3 – подводящая трубка для В.О., 4 – закольцованный капельный трубопровод для К.О., 5 – закольцованный капельный трубопровод для В.О., 6, 7 – капельницы, 8, 9 – входной адаптер, 10, 11, 12 – выходной адаптер, 13 – подводящая трубка для А.О., 14 – перепускной клапан, 15 – спринклер, 16 – соединительный тройник

Микрождеватели для осуществления МДД выполнены в виде распылительных насадок с редукционными регулируемыми клапанами (рис. 2).

В режиме двойного регулирования почвы, которое осуществляется забором воды с открытого водоисточника или со скважины - электронасосом, вода поступает через гравийно-песчаный фильтр в магистральный трубопровод. С магистрального трубопровода вода подается в поливной трубопровод, затем к низконапорным закольцованным капельным и внутрпочвенным трубопроводам с водовыпусками, обеспечивающими, равномерный полив. Гидроподкормщик в описанной системе обеспечивает поочередную подачу полного объема питательных веществ в капельные линии. Для перевода комбинированной системы орошения в режим мелкодисперсного дождевания в поливном трубопроводе при повышении напора воды создается рабочее давление 1,15... 0,02 МПа. Поливная вода поступает через трубки ПВХ в распылительные насадки для осуществления МДД (рис. 2).

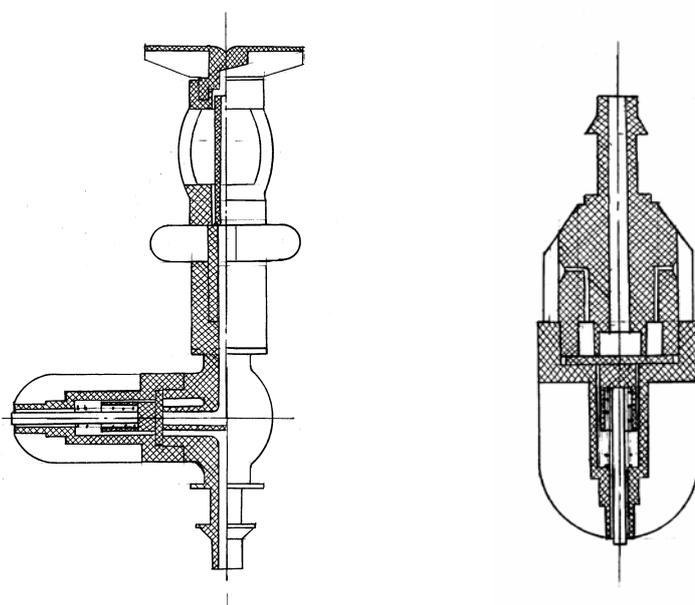


Рисунок 2 - Распылители с редукционными клапанами

При дальнейших исследованиях в разработанной универсальной многофункциональной системе орошения предусматриваются конструктивные решения, позволяющие осуществлять поливы омагниченной водой, и водой насыщенной углекислым газом (CO_2), т.е. ввод в эксплуатацию разработанной системы орошения дополнительных, технологически новых функциональных возможностей.

Основные показатели технической характеристики многофункциональной системы орошения:

1. Расход капельниц – 1,5-3,5 л/час.
2. Напор в капельном трубопроводе на входе - 0,15 МПа.
3. Расход капельницы в режиме МДД - 1 л/час.
4. Количество увлажнений при МДД за сутки – 8...14.

5. Давление в капельной линии при режиме МДД 0,17...0,2 МПа.
6. Расход поливной воды при МДД за одно увлажнение 0,64...1,28 м³/га.
7. Продолжительность одного увлажнения при МДД – 0,5 мин.
8. Межполивной интервал увлажнений по времени – в зависимости от Т воздуха С⁰.
9. Количество закольцованных капельных трубопровода – 2 на 1 плодовое дерево.

На данном этапе проводятся исследования по выявлению дополнительных возможностей рабочих функций системой комбинированного орошения.

Совмещение способов двойного регулирования почвы и мелкодисперсного дождевания способствует повышению показателей фотосинтеза, активизирует все процессы роста и развития растений за счет регулирования микроклимата, что положительно сказывается на продуктивности возделываемой культуры [4, 5, 8].

Предложенная система двойного регулирования влажности почвы в сочетании с МДД позволит значительно сократить время работы электронасосной или дизельной станции в 1,5...2 раза, что, несомненно скажется на экономии денежных средств, затраченных на производство электроэнергии или при закупке дизельного топлива.

Приведенные, вышеизложенные, материалы показывают, что при использовании разработанной системы комбинированного орошения (ВПО + КО + МДД) при незначительных дополнительных затратах в сравнении с КО возможно проводить ряд необходимых технологических операций, в результате которых решаются задачи направленные на снижение уязвимости сельскохозяйственного производства.

Список использованных источников

1. Александров, А.Д. Мелиорация микроклимата. / А.Д. Александров // Земля Сибирская дальневосточная. – 1978. - № 4. - С.28-30.
2. Бальбеков, Р.А. Новая система капельного орошения / Р.А. Бальбеков, В.В. Бородычев, А.М. Салдаев, А.В. Дементьев, Ю.В. Кузнецов. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2003. - №4.- С. 6-9.
3. Бородычев, В.В. Аэрозольное орошение сельскохозяйственных культур / В.В. Бородычев // М, Росагропромиздат, 1989, С. 73.
4. Губер, К.В. Создание экологически ориентированных гидромелиоративных систем: итоги и перспективы. / К.В. Губер // Методы и технологии комплексной мелиорации и экосистемного водопользования. – М.- 2006. - 281 с.
5. Курбанов С.А. Исследование системы капельного орошения и мелкодисперсного дождевания / С.А. Курбанов, А.В. Майер //Ж. Проблемы развития АПК региона ДагГАУ № 3. 2012 - С. 5-9.
6. Майер, А.В. Разработка технических средств и метод определения интервала времени между увлажнениями в системе комбинированного орошения/ А.В. Майер, В.С Бочарников, Е.А. Долгополова // Ж. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса //Наука и профтехобразование, № 1. 2012 – С. 150-155.
7. Майер А. В., Технические средства и технология комбинированного орошения и мелкодисперсного дождевания /А.В. Майер, В.С Бочарников // Ж. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса // Наука и профтехобразование № 2. 2012 – С. 3-8.

8. Майер А.В. Многофункциональная система орошения для полива плодовых и овощных культур /А.В. Майер, Ю.И. Захаров, Н.В. Кривоуцкая // Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства. – М 2013. – С. 183-187.

9. Овчинников, А.С./ Регулирование фитоклимата в агрофитоценозах при комбинированном орошении и система для его осуществления/А.С. Овчинников, В.С., Бочарников, О.В., Бочарникова, Б.М., Кизяев, А.В., Майер // Патент Российской Федерации на изобретение № 2464776. – 2012 г.

10. Шумаков, Б.Б. Аэрозольное орошение: технология и эффективность / Б.Б. Шумаков, В.В. Бородычев // Мелиорация и водное хозяйство. – 1988. - № 7 . - С. 3-8.

11. Шумаков, Б.Б. Гидромелиоративные системы нового поколения /Б.Б. Шумаков // М. - ВНИИГиМ. – 1997. - с. 109.

УДК 631.6(470.313)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ОБВОДНЕНИЯ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ

Макарова Л.Ю., Мажайский Ю.А.

ООО «Мещерский научно-технический центр», г. Рязань, Россия

МФ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В условиях усиления аридизации климата гумидной зоны России и деградации гидромелиоративных систем (ГМС), построенных во второй половине 20 века, возникла практическая необходимость восстановления части ранее осушенных болотных ландшафтов для обеспечения, прежде всего пожарной безопасности, экологической устойчивости и снижения эмиссии парниковых газов. Одной из причин, ускоривших практическое решение данной проблемы, послужили аномально засушливые условия 2010 г., приведшие к лесным и торфяным пожарам, повлекшими гибель людей [8, 9].

Значительная часть работ по обводнению ведется на территории РФ в рамках проекта «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», являющегося частью Международной климатической инициативы (КИ). Поддержку этой инициативе на основании решения, принятого Германским Бундестагом, оказывает Федеральное министерство окружающей среды, охраны природы, строительства и безопасности ядерных реакторов Германии (BMUB). Проект финансируется посредством немецкого банка развития KfW и реализуется совместно Wetlands International, фондом Микаэля Зуккова, университетом Грайфсвальда и институтом лесоведения РАН в сотрудничестве с Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Правительствами Московской, Нижегородской и Тверской областей и Администрацией Владимирской области.

Проект «Восстановление торфяных болот в России» стал одним из победителей конкурса «Момент для перемен – 2017», проводимого Секретариатом Рамочной конвенции ООН об изменении климата.

При восстановлении (ренатурализации, реставрации) болотных экосистем, нарушенных в результате осушения, в качестве главной цели ставится обеспечение экологической устойчивости и пожарной безопасности ландшафта [1, 2, 7, 10].

Основными методом ренатурализации осушаемых болотных массивов является подача недостающего для обеспечения процесса заболачивания количества воды путем субиригации или поверхностного затопления. Способ ренатурализации - перераспределение по территории и во времени гидрологических ресурсов водосборов с помощью использования существующей осушительной сети и создания специальной системы гидротехнических сооружений и, в отдельных случаях, искусственных водных объектов [5, 6, 8, 12].

Для определения наиболее эффективной схемы (проекта) обводнения наиболее рационально использовать математическое (численное) моделирование процессов затопления осушенных болотных массивов во время весенних половодий, являющихся основными источниками водного питания водосборов (70-90 % от общего объема стока) [3].

Наиболее достоверные результаты дает моделирование с использованием одномерных (MIKE 11) и двумерных уравнений Сен-Венана (MIKE 21), а также комплексное моделирование (MIKEFLOOD), реализованное в программном комплексе MIKE (Датский гидравлический институт), сертифицированного на территории РФ [4].

Результатом анализа выполненных расчетов являются двумерные карты и видео процесса моделирования половодья, которое доступно после окончания процесса вычислений.

В процессе вычисления определяются такие параметры гидрографической сети, как максимальная глубина затопления, ширина и уровень затопления, максимальный расход воды в створе, средняя скорость водного потока в сечении, а также распределение скоростных характеристик по длине всей гидрографической сети. Вычисления происходят на временном отрезке прохождения половодья с вычислением критериев стабильности по Куранту.

Использование результатов численного моделирования применялось при выполнении проектных работ по объектам в рамках проекта «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата»:

1 «Разработка элементов проекта обводнения выработанного торфяного месторождения «Большое Урсово» и «Макарихинское» в Камешковском районе Владимирской области»;

2 «Разработка проекта обводнения (вторичного заболачивания) участка нарушенных черноольховых болот Городное площадью 910 га в соответствии с концепцией плана обводнения».

Для получения максимально возможной площади обводнения месторождений предложено перераспределение поверхностного и дренажного стока как с внешней, так и с внутренней водосборной площади по территории месторожде-

ния с помощью устройства земляных перемычек на основных валовых и магистральном каналах. Перекрытие осушительной системы торфоместорождения осуществляется глухими перемычками без устройства водоспусков регуляторов [8, 11].

Местоположение, размеры и высотные параметры перемычек получены и приняты в проектах по результатам численного моделирования в программном комплексе MIKE 21, для обеспеченности 5% при прохождении весеннего половодья (для получения отметок гребня перемычек) и 95% обеспеченности (для определения геометрических размеров перемычек).

Результаты численного моделирования для объекта Городное представлены на рисунках 1 - 4.

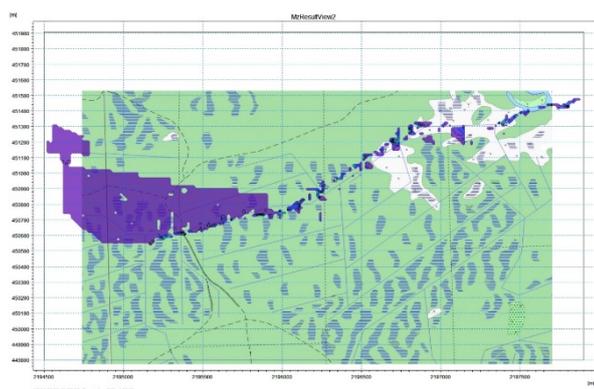


Рисунок 1 – Глубины на 17.06.2017 г.
(окончание половодья, 5%)

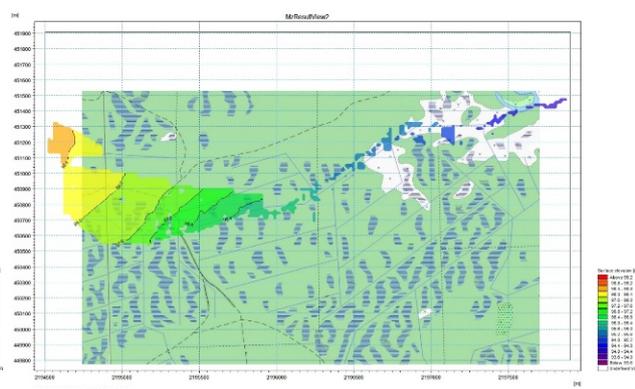


Рисунок 2 – Уровни на 17.06.2017 г.
(окончание половодья, 5%)

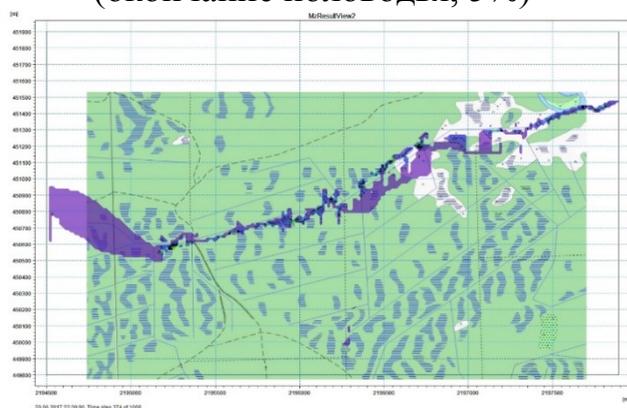


Рисунок 3 – Глубины на 20.06.2017 г.
(окончание половодья, 95%)

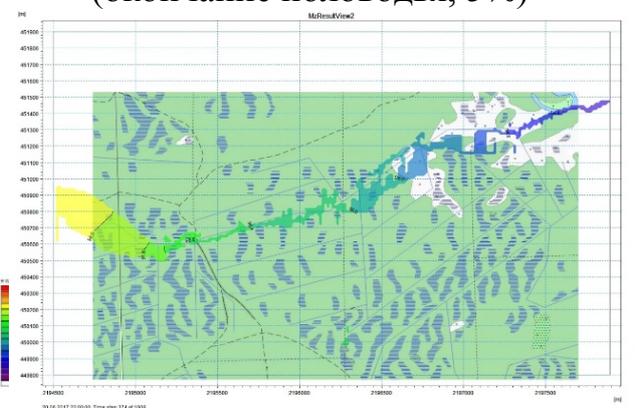


Рисунок 4 – Уровни на 20.06.2017 г.
(окончание половодья, 95%)

На основе численного моделирования обводняемого массива проведён анализ объёмов водных ресурсов на месторождении в летне-осеннюю межень соответствующих обеспеченностей с учётом всех составляющих водного баланса. Получены численные и временные параметры, позволяющие оценить необходимые объёмы воды для максимально возможной площади обводнения (табл. 1, 2).

Таблица 1 - Участок в естественном состоянии (перемычки отсутствуют)

	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь		
Приток с водосборной площади	Inflow sources	504298.81	1222288.21	1301594.82	1306183.50	1306212.50	1306243.06	1306351.78	m ³
Потери на Испарение (осадки минус испарение)	Hydrology net precipitation	-82802.58	-233165.52	-279584.64	-294498.24	-298099.41	-299791.56	-300717.35	m ³
Коррекция уровня воды	Water level correction	8844.20	20944.70	21639.14	21823.95	21846.19	21855.60	21860.76	m ³
Общий отток с территории	Total inflow	430340.43	1010067.40	1043649.32	1033509.20	1029959.27	1028307.10	1027495.20	m ³
Потери на фильтрацию	Hydrology infiltration	2008.33	3678.36	3678.36	3678.36	3678.36	3678.36	3678.36	m ³

Таблица 2 – Участок после проведения мероприятий по обводнению

	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь		
Приток с водосборной площади	Inflow sources	501759,23	1222569,05	1301655,34	1306183,5	1306212,52	1306243,64	1306351,78	m ³
Потери на Испарение (осадки минус испарение)	Hydrology net precipitation	-83336.69	-237108.52	-286102.66	-302114.87	-305971.57	-307746.17	-308677.30	m ³
Коррекция уровня воды	Water level correction	8727.15	20806.64	21500.44	21684.24	21706.49	21715.90	21721.06	m ³
Общий отток с территории	Total inflow	427149.69	1006267.17	1037053.13	1025752.87	1021947.44	1020213.37	1019395.54	m ³
Потери на фильтрацию	Hydrology infiltration	1999.79	3675.62	3675.62	3675.62	3675.62	3675.62	3675.62	m ³

Анализ результатов показывает, что объемы задерживаемого стока на участке в результате проведения мероприятий в острозасушливый год (Р 95%) составляют на конец октября – 8,1 тыс. м³.

Список использованных источников

1. Временные рекомендации по проектированию обводнения выработанных и выведенных из эксплуатации площадей торфяных месторождений [Текст]. М., 2008. – 112 с.
2. Инструкция по восстановлению торфяных болот после добычи торфа [Текст]. С-Пб.: Техноторф, 2002. – 56 с.
3. Кирейчева, Л.В. Принципы моделирования мелиоративного режима при комплексных мелиорациях / Кирейчева Л.В., Яшин В.М., Глазунова И.В. и др. // - М.: ВНИИГиМ, 2001. – 65 с.
4. Компьютерное моделирование речных потоков. Теоретические основы. Группа компаний НФК «Волга» [Текст]. Москва, 2015. – 79 с.
5. Маслов, Б.С. Гидрология торфяных болот [Текст] /Б.С.Маслов//М.: Россельхозакадемия, 2009. – 266 с.
6. Методические рекомендации по конструкциям и технологии сооружения земляного полотна при прохождении обводнённых болот, озёр и грядово – озерковых болотных комплексов в условиях севера Западной Сибири [Текст]. Союздорнии, Москва, 1978. - 65 с.
7. Панов, В.В. Восстановление торфяных болот[Текст] / В.В. Панов//Томский государственный педагогический университет. – Томск, 2006 – 70 с.
8. Пыленок, П.И. Ренатурализация осушенных болот: гидрологические предпосылки и технологии [Текст]. / П.И.Пыленок//Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук, 2013, №1, с.38-42.
9. Пыленок, П.И. Эволюция гидромелиоративной парадигмы в зоне избыточного и неустойчивого увлажнения [Текст]. / П.И.Пыленок//Инновационные технологии в мелиорации. Материалы международной научно-практической конференции (Костяковские чтения). – М.: Изд. ВНИИА, 2011, с. 146-151.
10. Зайдельман, Ф.Р. Рекомендации по защите торфяных почв от деградации и уничтожения при пожарах [Текст]. / Ф.Р. Зайдельман. МГУ им М.В. Ломоносова, М., 2011. - 204 с.
11. Рекомендации по экологической реабилитации нарушенных болот и предотвращению нарушений гидрологического режима болотных экосистем при осушительных работах на прилегающих территориях [Текст]. Минск, 2010. – 113 с.
12. Ренатурализация и устойчивое управление торфяными болотами для предотвращения деградации земель, изменений климата и обеспечения сохранения глобально значимого биологического разнообразия[Текст]. Минлесхоз, Беларусь, 2010.

УДК 631.117

МОНИТОРИНГ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ И ПОРОД ПРИ ОРОШЕНИИ

Макарычева Е.А.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Экологические требования к орошению заключаются в необходимости рационального использования природных ресурсов, включающего сохранение плодородия почв при минимуме потерь оросительной воды. Ресурсосбережение и увеличение урожайности являются равноправными факторами, формирую-

щими экономическую эффективность мелиораций [1, 2]. При промывном режиме орошения структура почв ухудшается вследствие разрушения агрегатов, уменьшения их содержания в результате выноса из пахотного горизонта илистых частиц, гумуса и кальция [3], формирования уплотненных подпахотных горизонтов (плужной подошвы [4].

При иссушении верхнего слоя почв до влажности ω менее ВРК резко падает его теплопроводность, возрастают градиенты температуры и снижается устойчивость агрегатов к давлению с/х машин, ударов капель дождя и воздействию заземленного воздуха. В результате снижается содержание пор аэрации, водопроницаемость почвы, увеличиваются поверхностный сток, опасность водной и ветровой эрозии [5].

Иллювирирование подпахотного горизонта в результате увеличения содержания илистых частиц приводит к необратимому ухудшению агрегатного состава, снижению водопроницаемости и капиллярной проводимости, определяющей скорость притока воды к корневой системе растений из нижних горизонтов увлажненной зоны.

Плужная подошва уменьшает допустимую интенсивность дождя и снижает скорость притока капиллярной воды в корнеобитаемую зону, что увеличивает потери воды в зону аэрации, обуславливает необходимость снижения расчетной глубины увлажнения почвы, поливных норм и увеличения числа поливов [6]. Кроме того, в годы с повышенным количеством осадков на уплотненном подпахотном горизонте формируется верховодка, вызывая разрушение структуры нижних слоев почвы от их переувлажнения [7].

Для сохранения структуры верхнего слоя орошаемых почв необходимо обеспечивать его влажность перед поливом более ВРК, оценку степени иссушения можно производить по показателю $\beta = \omega / \text{ВРК}$, с уменьшением которого возрастает риск дезагрегации почвы. Определение значений ВРК производят по зависимости скорости испарения воды от влажности почвы, установленной методом монолитов в лабораторных условиях [8].

Картирование орошаемых площадей по этому показателю для обоснования очередности проведения поливов следует использовать радиофизические методы дистанционного зондирования почвенного покрова, позволяющих устанавливать четкие зависимости коэффициента излучения от влажности в слое 0 ... 20 см во всем ее диапазоне [9].

Для построения зависимостей коэффициента излучения от влажности с целью повышения их репрезентативности рекомендуем использовать геолокационный метод, основанный на измерении отраженных электромагнитных импульсов в слоях почвы с различной диэлектрической проницаемостью [10]. В контурах распространения гидроморфных почв целесообразно использование георадара непрерывного сканирования с производительностью до 5 га/ час, а в контурах автоморфных почв – дискретного действия с производительностью порядка 3 га/ час.

При зондировании зоны аэрации можно использовать георадары типа «Око и модифицированные типа «Лоза», которые позволяют производить зондирование с разной частотой в зависимости от исследуемой мощности зоны аэрации до глубины 30 м и более.

Для оценки влияния плужной подошвы на эффективность использования растениями оросительной воды и поливные нормы необходимо производить наблюдения за содержанием глинистых частиц в уплотненном подпахотном горизонте на каждом севооборотном массиве. Характеристики плужной подошвы существенно изменяются по площади [11], поэтому наблюдения на типовых площадках [12] следует дополнять данными геолокационного метода, позволяющего определять глубину залегания слоев и их свойства с учетом мезо- и микро-рельефа.

Водоподъемная способность иллювирированного горизонта снижается вследствие уменьшения содержания активных капиллярных пор диаметром 10 - 60 мкм (n_a), по этому показателю следует оценивать степень влияния плужной подошвы на запасы доступной растениям воды и рациональную глубину увлажнения почвы при поливах (h_p). Для обоснования значений h_p , соответствующих эффективно используемым запасам капиллярной воды, необходимо регулярно производить наблюдения за влажностью почв и пород после полива ($\omega_{пп}$) и по результатам наблюдений строить эпюры $\omega_{пп}(z)$, соответствующие разным поливным нормам в диапазоне изменения $\omega_{пп}$ от ВРК до наименьшей влагоемкости (НВ).

Эпюра перед поливом, характеризуемая ВРК на поверхности почвы, отражает минимально допустимый запас воды и используется для расчета критической влажности (нижнего предела увлажнения НП), равной среднему ее значению в пределах увлажняемого слоя. С увеличением h_p значения НП возрастают вследствие снижения скорости испарения в атмосферу и увеличения равновесной влажности перед поливом.

Для снижения потерь воды в зону аэрации с нисходящим капиллярным потоком после полива на подошве расчетного слоя почвы следует обеспечивать влажность не более характеристической влагоемкости (ω^*), соответствующей капиллярному потенциалу $P = 35$ кПа [13], при котором резко снижается скорость движения воды в виде жидкости по капиллярам диаметром менее 10 мкм [14].

Определение этой влажности следует производить для каждого почвенного слоя на типовых площадках севооборотных массивов капилляриметрическим методом, отбирая монолиты почвы минимум в трехкратной повторности [15]. По результатам определения строят эпюру $\omega^*(z)$, которую используют совместно с серией эпюр $\omega_{пп}(z)$ для обоснования рациональной глубины увлажнения при поливе заданной нормой.

Для предупреждения развития процесса иллювирирования необходимо при поливах дождеванием обеспечивать интенсивность дождя, не превышающую ее экологически допустимой величины, соответствующей скорости безнапорного впитывания [16]. На первом этапе проведения мониторинга орошаемых почв

следует установить распространение плужной подошвы по площади при учете периода орошения, оросительных норм и применяемой интенсивности дождя.

Риски вторичного засоления почв вследствие притока минерализованных грунтовых вод определяются водоподъемной способностью пород зоны аэрации, которая закономерно растет с увеличением содержания крупно - пылеватых частиц диаметром 0,01...0,05 мм ($n_{кп}$). Поэтому при проведении мониторинга следует дифференцировать породы зоны аэрации по типовым эпюрам $n_{кп}(z)$, выделяя площади, подстилаемые однородными в разрезе лессовидными суглинистыми породами.

Выводы

1. Изменение водно-физических свойств орошаемых почв следует производить по характерным значениям влажности – ВРК, ω^* , НВ, используя серию эпюр влажности почвы после поливов разными поливными нормами.

2. Экологически допустимая интенсивность дождя, предупреждающая иллювиирование подпахотного горизонта, должна соответствовать скорости безнапорного впитывания в течение всего периода полива, что не обеспечивается на практике.

3. При обосновании местоположения типовых площадок для наблюдений за солевым режимом почв следует учитывать водоподъемную способность пород зоны аэрации.

Список использованных источников

1. Зимовец Б.А., Экологическая концепция мелиорации почв. [Текст] / Зимовец Б.А., Зайдельман Ф.Р., Панкова Е.И., Бойко С.В. // Почвоведение, 1993, № 6.

2. Кундиус В.В., [Текст] / Кундиус В.В., Марьин С.В. // Обоснование оптимальных оросительных норм сельскохозяйственных культур с учетом социально-экономических и экологических факторов. / Роль природообустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК. 2007.

3. Мамедов Р.Г. Закономерности изменения водпрочности структуры почв вертикальных зон Азербайджанской ССР. [Текст] / Мамедов Р.Г. // Труды X Междунар. Конгресса почвоведов. Физика и технология почв, том 1, М., Наука, 1974.

4. Медведев В.В. Физические свойства и характер залегания плужной подошвы в разных типах пахотных почв. [Текст] / Медведев В.В. // Почвоведение, № 12, 2011.

5. Макарычева Е.А. Определение показателей капиллярных свойств почв при обосновании поливных норм. [Текст] / Макарычева Е.А. // «Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства в России», М., 2013.

6. Астапов С.В. Водный режим почвы при орошении яровой пшеницы на типичных и карбонатных черноземах [Текст] / Астапов С.В., Шишков К.Н. // Орошение с/х культуры Центрально-черноземной полосе РСФСР, М., 1952.

7. Шевченко Г.В. Причины переувлажнения земель и его последствия в Краснодарском крае [Текст] / Шевченко Г.В., Черниченко И.Д. // М и ВХ, № 5, 2000.

8. Романов А.Н. Микроволновые методы дистанционного зондирования земных покровов. [Текст] / Романов А.Н. // Барнаул, Изд АГУ, 2002, 100 с.

9. Пягай Э.Т. Перспективы внедрения геолокационных методов для мониторинга и прогноза состояния земель. Сельскохозяйственного назначения. [Текст] / Пягай Э.Т. // Методическое обеспечение мониторинга земель с/х назначения. М., 2010.

10. Абрамова М.М. Опыты по изучению передвижения капиллярно – подвешенной влаги при испарении. [Текст] / Абрамова М.М. // Почвоведение, 1948, № 1.
11. Корнеев И.В. Влияние изменчивости водопроницаемости иллювиального горизонта на водный режим дерново - подзолистых почв возвышенных фаций. [Текст] /Корнеев И.В. // Сб.трудов МГУП «Комплексные мелиорации – главный фактор в обеспечении устойчивого развития АПК России», 2006.
12. Методические рекомендации по контролю за мелиоративным состоянием орошаемых земель. М., 1978.
13. Павлова И.Н. Характеристическая влажность пород как обобщенный параметр их свойств. [Текст] / Павлова И.Н. // Тезисы докладов 1У Межвед. Совещания по мелиор. Гидрогеологии, инженерной геологии и мелиор. Почвоведению. М., 1980.
14. Шаповалова О.В. Роль фазовых переходов при передвижении воды в системе почва – растение – атмосфера. [Текст] / Шаповалова О.В.// Сб. Обоснование допустимых глубин грунтовых вод орошаемых земель, М., ВНИИГиМ, 1987.
15. Методика комплексных исследований на орошаемых опытных участках для определения водно-физических и гидрохимических характеристик почв и грунтов. // М., ВНИИ-ГиМ, 1987.
16. Макарычева Е.А. К обоснованию почвозащитных технологий орошения. [Текст] / Макарычева Е.А.// Материалы юбилейной междунар. научно-практич.конфер. «Комплексные мелиорации - средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель» Изд.ВНИИА, 2014.

УДК 631.6: 542.93

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА НА ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Максименко В. П., Волчкова Т. Л., Меньшикова С. А., Айриян Н. В.
ФБГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В статье приведены данные по обоснованию необходимости применения оперативного мониторинга на мелиорированных землях с осушительно-увлажнительными системами. Для этого сделан анализ формирования элементов водного баланса по дефициту испаряемости как за гидрологический год (X-IX м-цы), так и по периодам: холодному (IX-III м-цы), теплomu (IV-IX м-цы) и ежемесячно за вегетационный период (IV, V, VI, VII, VIII и IX м-цы). Представленные данные вероятностного распределения (за 47 лет наблюдений) свидетельствуют о широком диапазоне изменения дефицитов испаряемости в регионе избыточного естественного увлажнения. За гидрологический год осадки превышают испаряемость в 63 случаях из 100, дефицит испаряемости на уровне 75...99 % обеспеченности не превышает 25...45 мм, при этом избыточное увлажнение на уровне 1, 5, 10 и 25 % обеспеченности превышает дефицит испаряемости на 99 % уровне, соответственно, в 13,5; 11,7; 8,0 и 3,6 раза. Аналогичная картина складывается по результатам вероятностного анализа и по другим временным периодам. Особенно контрастный характер приобретают показатели водного баланса по месяцам в течение вегетационного периода, когда решается вопрос

о дополнительном увлажнении посевов. Разность между экстремальными значениями от избыточного увлажнения до дефицита испаряемости за вегетационный период может составлять 8000 м³/га.

Эффективно управлять осушительно-увлажнительными мелиорациями при таком разбросе значений по элементам водного баланса без оперативного мониторинга практически невозможно, что и отражается на состоянии мелиорированных земель в зоне избыточного увлажнения. Рекомендовано рассматривать оперативный мониторинг как неотъемлемый элемент осушительно-увлажнительной системы, который обосновывается и предусматривается в проектах мелиоративных мероприятий.

Ключевые слова: ДЕФИЦИТ ИСПАРЯЕМОСТИ, ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ, ВОДНЫЙ БАЛАНС, ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ, ВЕРОЯТНОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, МЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ.

Введение

По данным Департамента мелиорации Минсельхоза России на 1 января 2017 года на балансе предприятий числилось осушаемых земель 4,78 млн. га, из которых в сельскохозяйственном производстве находилось 3,22 млн. га или 67,4% [1]. По сравнению с 2005 годом наличие неиспользованных осушаемых земель увеличилось с 12% до 32,6%, при этом сохраняется тенденция ухудшения находящихся в обороте осушенных земель. Ориентировочно площадь земель в хорошем состоянии составляет 14...18%, в удовлетворительном – 48...52% и в неудовлетворительном – 33... 36%. В соответствии с количественным и качественным изменением осушенных земель увеличивается доля недобора продукции от возможного уровня с 0,55 до 0,58, что свидетельствует о низкой производительности осушенных земель [2].

Научными и производственными организациями в последние годы предложен ряд новых подходов и технических решений по совершенствованию осушительных мелиораций и эксплуатации осушительных систем, однако многие из них еще не обрели форму нормативных документов, способствующих повышению эффективности хозяйственной деятельности и экологической безопасности на вводимых в оборот мелиорированных землях.

Поэтому при решении задач выбора конструкции гидромелиоративных систем и метода расчёта дренажа в регионах избыточного увлажнения необходимо исходить из требований создания комплексных систем, в наибольшей степени адаптированных в ландшафт и учитывающих будущие изменения в результате антропогенной деятельности. Вместе с тем решение такой задачи носит вероятностный характер. На практике же, заложенные в проекте исходные условия, варьируют в широком диапазоне значений, от положительных до отрицательных, отражаясь негативно как на эффективности растениеводческого производства, так и на экологии. Предпосылки для создания таких условий, как правило, формируются уже на стадии обоснования вида и типа гидромелиоративной системы.

Объект и методология исследований. Объектом исследований являются сложившиеся теоретические подходы к обоснованию конструкций и параметров гидромелиоративных систем и способов управления водными потоками в период их эксплуатации на основе анализа элементов водного баланса территории в режиме реального времени.

Исходя из обозначенных предпосылок и регионального избыточного природного увлажнения, функционирование гидромелиоративной системы определяется отводом избытка воды с осваиваемого массива. Вместе с тем при ведении растениеводческого производства в течение вегетационного периода потребность сельскохозяйственных культур в воде возрастает, а складывающийся гидротермический режим в регионе сопровождается превышением испаряемости над обеспечением территории атмосферными осадками. В такой ситуации производитель растениеводческой продукции вынужден искать возможность удовлетворения потребностей растений в воде путем наложения на осушительную систему дополнительно функций оросительной системы. Для этого широко применяются дождевальные системы. Однако их использование сопряжено с дополнительными энергетическими и ресурсными затратами. Эффективность эксплуатационных затрат существенно снижается при использовании субиригации, предусматривающей создание систем двустороннего регулирования влажности почвы способом повышения уровня грунтовых вод. В то же время создание таких систем сопряжено с необходимостью увеличения затрат на управление потоками воды на мелиорируемом массиве. При этом наиболее сложной становится задача количественных оценок перераспределения объемов воды, при котором с учетом компенсации дефицита водопотребления сельскохозяйственных культур и исключения подтопления осушенной территории.

Одной из причин такого положения осушаемых земель является неэффективное управление водными ресурсами. В соответствии с нормативными документами к началу полевых работ, для создания условий их выполнения, с полей должен быть отведен избыток воды, сформировавшийся на системе в холодный период, весеннего снеготаяния и выпадения осадков [3, 4]. Например, для Центрального Нечерноземья (Дмитровский район), на уровне 1%-ой обеспеченности с осушаемой территории к этому моменту должно быть отведено до 564 мм осадков или 5640 м³ воды с гектара [5, 6]. При этом, в большинстве случаев, в процессе отведения этих вод к началу вегетационного периода с осушаемого массива сбрасывается больше воды, чем её необходимо для поддержания оптимального уровня влажности почвы в течение всего последующего вегетационного периода. Наиболее ответственным моментом в работе осушительно-увлажнительной системы является соблюдение равновесного водного баланса между избытком поступающих на осушаемый массив объемов воды, его отведением и потребностью воды для регулирования влажности почвы на полях в засушливый период. На стадии обоснования проекта выполняется прогнозный расчет с использованием климатических характеристик региона. Для этого в большинстве случаев используются атмосферные осадки и учитывается их поступление за опре-

деленный период. В более совершенных методиках для оценки используется вероятностная характеристика распределения этого параметра. Вместе с тем напряженность гидротермического режима в течение года меняется в широком диапазоне значений и зависит от обеспеченности региона тепловыми ресурсами и насыщенности водяными парами поступающего воздуха. Поэтому необходимость дальнейшего совершенствования гидромелиоративных систем может быть реализована при использовании такой комплексной многолетней характеристики напряженности метеорологической условий, как дефицит испаряемости.

Для этого должна быть разработана методика обоснования и сформирован информационный банк, включающий многолетний ряд (более 30 лет) метеоданных, полученных на стационарных метеостанциях.

Характеристика объекта с точки зрения метеорологических условий в регионе осуществляется по следующей структуре.

Вначале обосновывается тип гидромелиоративной системы с использованием двух временных характеристик: за холодный и теплый периоды. На этом этапе устанавливается качественная характеристика системы – осушительная, осушительно-увлажнительная, обратная осушительно-увлажнительная или осушительно-увлажнительная с использованием рециклинговых технологий. Необходимо отметить, что представленная последовательность систем ориентирована на повышение эффективности использования водных ресурсов и снижение антропогенного негативного прессинга на природные водные объекты.

Следующий этап состоит в использовании параметров систем при обосновании дефицитов водопотребления сельскохозяйственных культур. Здесь используются вероятностные характеристики как по отдельным полям, так и в целом по системе, по которым проектируется урожайность сельскохозяйственных культур.

Обоснование для оборотных систем и систем с рециклинговыми технологиями осуществляется с учетом информационного банка данных по качеству воды, формирующемуся на мелиорируемом массиве.

Оперативный мониторинг используется в основном на стадии эксплуатации системы, то есть в период управления потоками воды на массиве. В этот период мониторинг переходит в стадию оперативного, когда возникает потребность в изменении направления воздействия на гидротермический режим почвы и приземного слоя воздуха, которые меняются не только дискретно по суткам, но и в течение суток. С учетом того, что на сельскохозяйственном поле гидротермический режим определяется погодными условиями, которые формируются независимо, а также под влиянием антропогенной деятельности, включающей воздействие на окружающую среду орошения, управление гидротермическими режимами на полях в наибольшей степени нуждается в оперативном мониторинге. В период развития сельскохозяйственной культуры отклонение от заданных параметров увлажнения сопровождается существенными потерями урожая, снижением эффективности использования ресурсов и ухудшением экологической ситуации.

Необходимо отметить, что как мониторинг, так и оперативный мониторинг используются не только для оценки элементов водного баланса на мелиорированном массиве, но и для других целей.

Данные постоянного мониторинга применяются для прогнозных расчетов параметров системы и установления продукционного потенциала сельскохозяйственных угодий, оперативный же мониторинг необходим для принятия управленческих решений по реализации технологий в режиме реального времени.

С целью прогнозной оценки возможных параметров элементов водного баланса для Центрального Нечерноземья (по данным м/с Дмитров), выполнен анализ колебания дефицита испаряемости за 47-летний период. Расчет дефицитов испаряемости осуществлен по методике Н.В. Данильченко [7,8]. Испаряемость устанавливалась по методике Н.Н. Иванова [9]. Распределение климатических характеристик в многолетнем разрезе, включая и интегральный показатель дефицита испаряемости, как правило, асимметричны, что учитывается при прогнозных расчетах построением биномиальных кривых распределения (кривой Пирсона III типа). Необходимость построения кривых обусловлена потребностью оценки возможных пределов изменения дефицитов с заданной обеспеченностью. Для расчета параметров биномиальных кривых распределения дефицитов испаряемости использована методика Г.А. Алексеева [10].

Графическая иллюстрация вероятностных значений распределения дефицитов испаряемости за холодный период (X-III), за гидрологический год (X-IX) и за вегетационный период (IV-IX) представлена в работе [5]. Необходимо отметить, что за гидрологический год испаряемость меньше выпадающих осадков в 63 случаях из 100. Если принять с некоторыми допущениями на этапе рекогносцировочного анализа испаряемость, равной дефициту водопотребления, то потребность в орошении может возникнуть в 37 случаях. При этом дефицит испаряемости на уровне 75...99% обеспеченности изменяется от 25 до 45 мм или от 250 до 450 м³/га [5]. Анализ распределения дефицитов испаряемости за холодный период показал, что и на 100% - ом уровне обеспеченности баланс формируется избыточным, свидетельствуя о необходимости ежегодного отведения воды с мелиорированного массива. К началу вегетационного периода избыточное увлажнение территории на уровне 1, 5, 10 и 25% обеспеченности составляет, соответственно: 609, 528, 360 и 162 мм, что превышает максимальный годовой дефицит испаряемости (45 мм) на уровне 99% обеспеченности, соответственно, в 13,5; 11,7; 8,0 и 3,6 раза.

При рассмотрении суммы дефицитов испаряемости за вегетационный период (IV-IX месяцы) потребность в дополнительном увлажнении может возникнуть уже в 70-75 случаях. Суммарный дефицит испаряемости по сравнению с избыточным увлажнением на 99% и 1%-ом уровне обеспеченности меньше на 70 мм и свидетельствует о том, что и в летний период осушение также необходимо, но в значительно меньшем объеме, по сравнению с холодным периодом.

Такой подход в оценке напряженности гидротермического режима в регионе по многолетним данным позволяет не только проводить предпроектные ра-

боты, но и по сформированной базе данных давать текущую информацию о состоянии элементов водного баланса в период эксплуатации гидромелиоративных систем.

При организации получения стабильно высоких урожаев важно знать, когда наступит наибольшая потребность в орошении в течение вегетационного периода. Для ответа на этот вопрос была проведена детализация дефицитов испаряемости в пределах вегетационного периода по месяцам (рис. 1). Результаты анализа свидетельствуют о том, что потребность в дополнительном увлажнении возникает: в апреле – 71, в мае – 72, в июне – 74, в июле – 51, в августе – 52 и в сентябре – 44 случаях из ста. Из представленных данных видно, что наибольшее количество случаев возникновения потребностей в орошении приходится на апрель, май и июнь месяцы, то есть практически сразу после сброса избыточной влаги весной.

Избыточное увлажнение по дефициту испаряемости с обеспеченностью, (P) , %

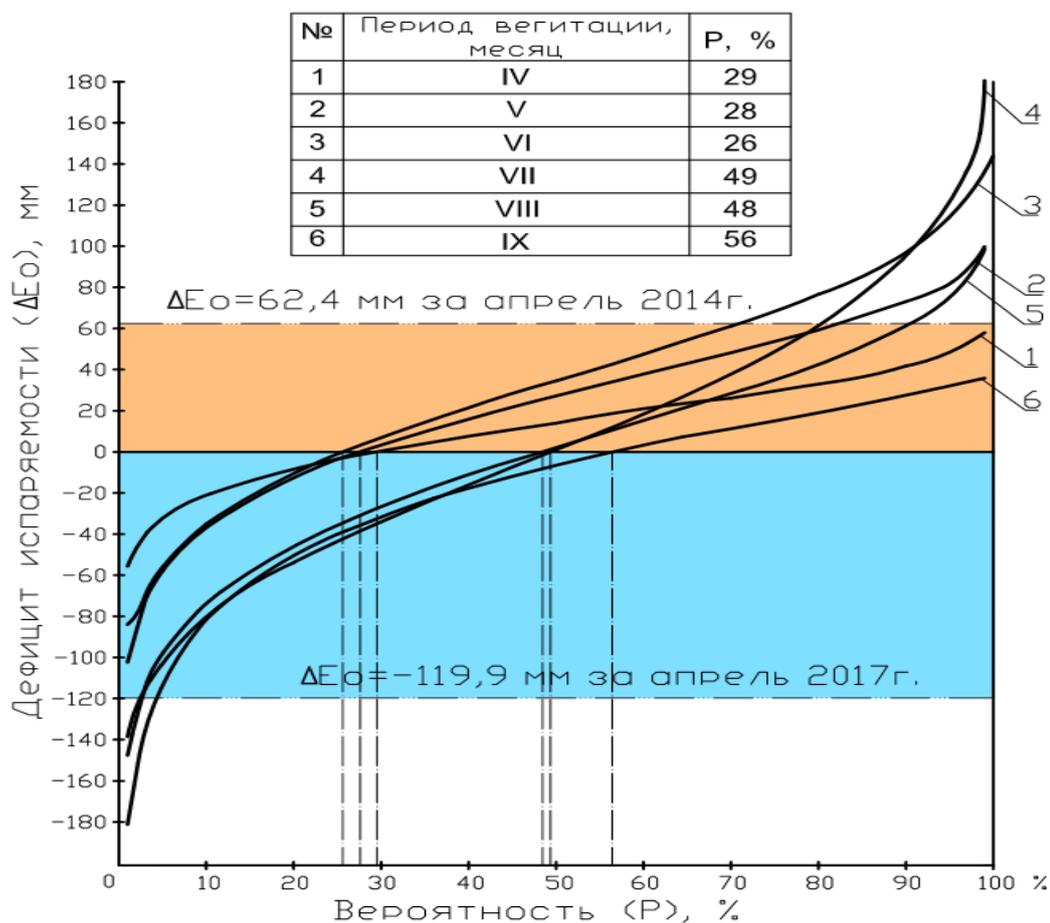


Рисунок 1 - Вероятностные кривые распределения дефицитов испаряемости (мм) по месяцам за вегетационный период:

1 – апрель, 2 – май, 3 – июнь, 4 - июль, 5 – август и 6 – сентябрь; оранжевый цвет – дефицит испаряемости в апреле 2014 года и голубой – баланс избыточного увлажнения по дефициту испаряемости в апреле 2017 года

В соответствии с нормативами избыток воды к началу вегетационного периода уже отведен с осушаемой территории. Поэтому в сложившейся практике для покрытия возникающего дефицита водопотребления вода забирается из природного водоприёмника и формируется встречный поток водных ресурсов на мелиорируемый участок. Это самое простое решение вопроса, но оно явно нерационально в силу необходимости полного сброса воды с последующим ее водозабором из природного водоприемника. Эту ситуацию можно спрогнозировать и с некоторой степенью достоверности описать.

Но решать ее можно только при наличии информации оперативного мониторинга. Задачу можно также решать (этот путь в некоторой степени апробирован) через создание систем с параметрами и техническими решениями, рассчитанными на заданный уровень обеспеченности пропуски или аккумуляции воды в пределах самой системы, то есть через включение в структуру системы мероприятий, имеющих превентивный характер. Правильный выбор параметров системы во многом зависит от исходной информации, база данных о которой должна формироваться в режиме реального времени.

Задача управления потоками воды на осушительно-увлажнительных системах усложняется, если рассматривать характер изменения балансов за один и тот же месяц, но в разные годы. Под влиянием погодных условий, которые имеют стохастический характер, в одном и том же месяце формируются противоположные балансы (табл. 1). Анализ данных таблицы 1 показал, что за последние восемь лет в Дмитровском районе Московской области такая ситуация практически возникала в каждом месяце вегетационного периода и по сумме дефицитов испаряемости за вегетационный период колебания между экстремальными значениями достигали до 8000 м³/га за сезон.

Таблица 1 - Стохастичность изменения дефицитов испаряемости (мм) по м/с Дмитров за вегетационный период с IV по IX месяцы

Годы	Месяцы						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
2010	15,9	48,0	69,5	226,2	19,8	-39,6	339,9
2011	-3,0	37,0	67,1	49,0	54,5	-123,6	81,0
2012	-36,8	11,7	-69,2	47,8	-42,4	-62,4	-151,4
2013	-7,1	-126,0	21,3	-151,8	21,8	-216,3	-458,2
2014	62,4	38,8	7,7	100,8	-15,5	-8,3	185,9
2015	-29,2	-89,9	30,5	-149,5	49,0	-43,2	-232,3
2016	-1,4	4,5	-2,6	-33,9	-193,7	-57,6	-284,7
2017	-119,9	-12,0	-156,9	-88,7	65,1	-14,7	-327,1
Избыточное увлажнение	-119,9	-126,0	-156,9	-151,8	-193,7	-216,3	-458,2
Дефицит испаряемости	62,4	48,0	69,5	226,2	65,1	-8,3	339,9

Рассматривая осушительную систему как инструмент управления потоками воды и качеством стока, необходимо исходить из предпосылки, что существующие и создаваемые системы не смогут обеспечивать 100 % гарантии поддержания требуемого уровня увлажнения для растений на протяжении всего вегетационного периода.

Следовательно, при проектировании систем управления поддержанием заданных уровней влажности почвы и в период их эксплуатации необходимо оценивать степень риска недополучения планируемого объема растениеводческой продукции и возможного негативного влияния на экологию природных водоприемников загрязненным дренажным стоком из-за несовершенства предлагаемых в производство технических решений. Введение в практику оценки рисков позволило бы существенно защитить производителя растениеводческой продукции от несовершенства осушительных систем, неустойчивости формирующегося на данной территории гидротермического режима в многолетнем разрезе, а с другой стороны – интенсифицировать процесс совершенствования систем управления заданным уровнем влажности почвы на гидромелиоративных системах. Эти вопросы решаются нормативно-правовыми актами, принимаемыми на уровне государственных органов управления. Однако их эффективность, как было уже сказано выше, существенно зависит от совершенства гидромелиоративных систем. Эту задачу также можно будет решать только при наличии информации оперативного мониторинга.

Резюме. С учетом тенденций развития научно-технического прогресса, как в целом, так и в развитии мелиоративной отрасли в других странах, необходимо совершенствование гидромелиоративных систем по следующим направлениям:

- создание автоматизированных систем управления на основе информационных технологий поддержки принятия решений по комплексу мероприятий, в частности, связанных с мониторингом работы системы в режиме реального времени и оперативным управлением режимом влажности почвы на осушительно-увлажнительных системах;

- рассматривая оперативный мониторинг и хозяйственную значимость получаемой при этом информации, необходимо рассматривать его как неотъемлемый элемент осушительно-увлажнительной системы, который обосновывается и предусматривается в проектах мелиоративных мероприятий.

Список использованных источников

1. Мелиоративный комплекс Российской Федерации / Информационный проспект Департамента мелиорации Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. - Москва, 2017. – 24 с.
2. Айдаров, И. П. Устойчивое развитие сельского хозяйства России. Монография [Текст] / И. П. Айдаров. – М.: МГУП, 2009. – 217 с.
3. СНиП 2.06.03 – 85 Мелиоративные системы и сооружения // Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя, 1986. – 60 с.
4. СТО НОСТРОЙ 2.33.21-2011 «Мелиоративные системы и сооружения». Часть 2. «Осушительные системы. Общие требования по проектированию и строительству. Издание официальное: ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации». М.: ООО Издательство «БСТ», 2012. – 60 с.

5. Максименко, В. П. Совершенствование гидромелиоративных систем в регионах в регионах избыточного природного увлажнения / В. П. Максименко, А. П. Соломина, Н. В. Айриян // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. - № 5-6. – С. 31 – 34.

6. Максименко, В. П. Возможности реализации рециклинга на осушительно-увлажнительных системах гумидной зоны / В. П. Максименко, Е. Б. Стрельбицкая, А. П. Соломина, Н. В. Айриян // Природообустройство. – 2016. – № 2. – С. 87 – 94.

7. Данильченко, Н.В. Зависимость режима орошения от природной увлажненности в Нечерноземном центре РСФСР // Гидротехника и мелиорация, 1977, N 10, с. 50–55.

8. Данильченко, Н.В., Никольская А.А. Оросительные нормы и природоохранные режимы орошения в Московской области. – Коломна: Коломенская типография, 2002. – 69 с.

9. Иванов, Н. Н. Мировая карта испаряемости [текст] / Н. Н. Иванов. – Л.: Гидрометеоздат, 1957. – 40 с.

10. Алексеев, Г. А. Графоаналитические способы определения и приведения к длительному периоду наблюдений параметров кривых распределения [Текст] / Г. А. Алексеев // Вопросы формирования и методики расчетов стока: труды ГГИ, вып. 73. - Л.: Гидрометеоздат, 1960. - С. 90 – 140.

УДК 627.841

МОНИТОРИНГ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ I - III КЛАССОВ И ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕХОДА НА СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ УПРАВЛЕНИЯ

Наумова Т.В.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Мониторинг эксплуатации оросительных систем I - III классов осуществляется по двум направлениям: регулирование гидравлического режима и наблюдение технически безопасного состояния комплекса гидротехнических сооружений, которые, по сути, являются совершенно разными, но при этом тесно связанные между собой.

Мониторинг гидравлического режима эксплуатации представляет собой систему регулярных наблюдений, дающих информацию о колебаниях уровней и расходов воды в каналах и водопропускных сооружениях оросительной системы для оценки эффективности принятия решений по обеспечению сельхозпроизводителей водой требуемого количества и качества. При мониторинге технического состояния комплекса гидротехнических сооружений оросительных систем осуществляются регулярные обследования по выявлению основных дефектов, анализируются причины их возникновения и намечаются организационно-технические мероприятия по устранению дефектов. Взаимосвязь между этими двумя направлениями мониторинга можно проиллюстрировать на примере диагностики колебания уровней воды в каналах при пропуске требуемых поливных расходов. Так превышение уровней воды в каналах над нормативными отметками может указывать на процесс заиливания каналов, а снижения – на увеличение фильтрации из-за дефектов или разрушений облицовки каналов.

Мониторинг гидравлического режима эксплуатации оросительных систем осуществляются исходя из функций управления, которыми являются: аккумуляция речного стока в водохранилище; регулирование пропуска воды через водозаборный гидроузел; регулирование расходов и уровней воды, забираемых в магистральный канал; транспортировка воды по сети распределительных каналов различных порядков; корректировка графиков подачи воды сельхозпроизводителям; полив, водоотведение и мониторинг качества воды.

Целью мониторинга эксплуатации оросительных систем (ОС) является создание информационных условий для формирования целостного представления работы как всей оросительной системы в целом, так и отдельных составляющих ее элементов, о качественных и количественных изменениях для принятия и корректировки решений в оперативном управлении. В теории управления такими сложными объектами, как оросительная система, рекомендует использовать системный подход, основанный на том, что любая управляемая система представляет собой единое целое, а отдельные элементы системы рассматриваются во взаимосвязи с общими закономерностями функционирования оросительной системы [1].

Например, наличие избыточного дренажного стока может указывать на то, что слишком много воды поступает в оросительную систему по сравнению с текущим водопотреблением (возможное снижение норм полива по погодным условиям) и фиксация данной ситуации может явиться сигналом для сокращения объемов подачи воды в магистральный канал. Поэтому мониторинг гидравлического режима эксплуатации оросительных систем должен предусматривать оценку водного баланса, в котором учитываются все виды поверхностных и подземных водных ресурсов в подконтрольной зоне орошения за определённый период времени.

В соответствии с системным подходом, организационно-технические аспекты управления, к которым относится мониторинг, и оценка функционирования каждого отдельного элемента должны согласовываться с работой всей оросительной системы в целом и соотноситься с социально-экономическими аспектами управления (водное законодательство, методы экономического регулирования и стимулирования).

В современных условиях без налаженного мониторинга невозможно добиться улучшения управления оросительными системами, основанного на системном подходе нахождения баланса между требованиями (спросом) сельхозпроизводителей на количество и качество поливной воды с возможностью (предложением) удовлетворить этот спрос.

Проведение мониторинга и сбор информации не имеет никакого смысла, если результаты полученных данных не анализируются и не используются для разработки решений по эффективному управлению оросительной системой. Инструментами мониторинга в оперативном управлении являются экспресс-оценка и сравнительный анализ эксплуатационных мероприятий, которые позволяют

оценить не только эффективность принимаемых решений, но и выявить ограничения и трудности при реализации проводимых мероприятий и сформулировать проблемы, требующие решения на более высоких уровнях управления.

В качестве примера проведения экспресс - оценки и сравнительного анализа были использованы данные натурных исследований, проведенных ВНИИ-ГиМ по мониторингу режима эксплуатации водозаборного плотинного гидроузла и головного участка магистрального канала Терско-Кумской оросительной системы, относящейся ко II классу капитальности. На рисунке 1 приведены данные мониторинга колебаний уровней и расходов воды на головном участке магистрального канала, из которого четко видно, что расходы воды пропускаются при отметках, превышающих проектный уровень воды 139,70 м, а при расходах воды от 100-110 м³/с уровень воды в канале превышает допустимый уровень форсирования 50 см.

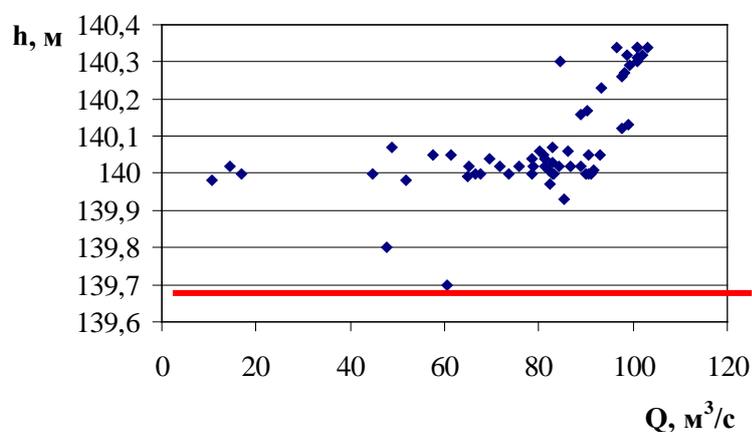


Рисунок 1 - Колебания уровней и расходов воды на головном участке магистрального канала, где h – уровень воды, а Q – расход воды на головном участке магистрального канала

Единственной причиной необходимости пропуска воды при повышенных отметках является заиливание магистрального канала, причем пропуск расходов воды при отметках, превышающих проектный уровень на 0,6 м, указывает уже на заиливание межхозяйственной оросительной сети. Поэтому борьба с заиливанием магистральных, распределительных и др. каналов, снижающих их пропускную способность и повышающих риск возникновения аварийных ситуаций из-за превышения допустимых уровней форсирования на 0,5 м и возможного перелива воды через бровки каналов, является одной из основных проблем эксплуатации оросительных систем.

Для бесперебойной и безаварийной подачи и распределения поливной воды требуется принятие оперативных решений по проведению мероприятий, снижающих захват наносов в водозаборы, а также прогнозирование и планирование соответствующих эксплуатационных мероприятий.

Не останавливаясь на подробном описании эксплуатационных методов по борьбе с захватом донных и взвешенных наносов в водозаборные сооружения ОС, кратко эти мероприятия можно подразделить на механическую очистку и гидравлические методы [2], к которым относятся:

1. Регулярное проведение глубоких гидравлических промывок при снижении отметок НПУ;
2. Дополнительная технология целенаправленного маневрирования щитами водосбросной плотины и водозаборного сооружения без снижения отметок НПУ (разработка ВНИИГиМ);
3. Транспортировка взвешенных наносов вместе с поливной водой на поля и промывка отложившихся в каналах наносов через коллекторно-дренажную систему.

Несмотря на то, что для каждой средней и крупной оросительной системы предоставляются соответствующие инструкции по их эксплуатации, разрабатываемых на основе «Правил эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений» [3], на практике постоянно приходится сталкиваться с непредвиденными ситуациями, которые требуют принятия оперативных решений. Поэтому мониторинг режима работы головных сооружений оросительной системы должен в любой момент времени отражать изменения условий эксплуатации оросительной системы, что невозможно осуществить без использования современного измерительного оборудования с программным обеспечением для получения, обработки и хранения информации.

Реализация гидравлических методов целенаправленного маневрирования щитами водопропускных сооружений требует разработки сценарных вариантов на основе проведения экспресс – оценок текущей ситуации режима работы оросительной системы. Разработка сценарных вариантов использования эксплуатационных методов борьбы с заилением каналов оросительных систем проводится для конкретных условий (паводки различной степени обеспеченности, межень, графики водоподачи и т.д.), которые должны формировать соответствующий банк данных. Сбор и передача информации должны быть доступны для центров принятия решений в реальном времени или близком к нему режиме. Данная функция все больше выполняется с помощью устройств беспроводной связи и системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) [4].

Выбор оптимальных вариантов эксплуатационных методов борьбы с заилением каналов оросительных систем проводится из расчета максимального сокращения затрат на механическую очистку каналов при использовании гидравлических методов. Поэтому для проведения сравнительного анализа требуются данные мониторинга о затратах на эксплуатацию и техническое обслуживание.

Натурные исследования показали, что проведение гидравлических методов регулирования наносного режима взвесенесущего потока позволяют снизить захват донных и взвешенных наносов в каналы оросительной системы на 30-40% и, тем самым, значительно сократить затраты на механическую очистку каналов [5]. Однако реализация гидравлических методов на практике встречает сопротивление со стороны других водопользователей речного бассейна (рыбного

хозяйства, которому наносится определенный вред, и гидроэнергетике при проведении глубоких промывок и т.д.)

Таким образом, при использовании гидравлических методов для сокращения объемов захвата наносов в каналы оросительной системы, четко обозначилась проблема необходимости разрешения конфликтных ситуаций с другими водопользователями, которая может быть урегулирована только на бассейновом уровне управления, т.е. необходима интеграция оросительной системы с общей водоресурсной системой речного бассейна.

К дополнительным эффективным гидравлическим методам регулирования наносного режима также относится осуществление гибкого графика забора воды фермерскими хозяйствами в зависимости от скоростного режима подхода взвешенного потока к водозаборному узлу (паводок и межень различной степени обеспеченности).

Использование на практике метода регулирования расходами воды, забираемой в водозабор и сбрасываемой через донные промывные галереи, требует корректировки графика подачи воды в оросительную систему в реальном времени, что невозможно осуществить без взаимодействия сельхозпроизводителей со службой эксплуатации оросительной системы, т.е. вовлечения сельхозпроизводителей в управление оросительной системой. В настоящее время календарные графики подачи воды в магистральные каналы согласовываются в начале года между водопользователями и службами эксплуатации ОС, а затем утверждаются соответствующими региональными министерствами по охране окружающей среды, что не позволяет вносить изменения в режим работы оросительной системы в вегетационный период.

Таким образом, анализ затруднений при реализации в полной мере гидравлических методов борьбы с заилением каналов позволил обозначить два основных направления повышения эффективности управления, которые отвечают мировым тенденциям развития и совершенствования управления оросительных систем. Этими тенденциями являются интеграция оросительной системы с общей водоресурсной системой речного бассейна и в дополнение к интеграции - децентрализация (передача управления) путем вовлечения сельхозпроизводителей в управление оросительной системой, начиная от фермерских хозяйств.

Поэтому для крупных и средних оросительных систем I - III классов обеспечение безаварийной и бесперебойной подачи сельхозпроизводителям воды требуемого количества и качества достигается путем интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР), что является мировой практикой.

Определение термина «интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР)» приведено в работе [6], которое формулируется следующим образом:

ИУВР – это процесс, который основан на учете всех наличных водных источников (поверхностных, подземных и возвратных вод) в пределах гидрографических границ речного бассейна, увязывает интересы различных отраслей народного хозяйства и уровни иерархии водопользования, вовлекает все заинтересо-

ванные стороны в принятие решений, и способствует эффективному использованию воды в интересах устойчивого благосостояния общества и экологической безопасности.

Принцип интегрированного управления исходит из положения, что вода является общественным достоянием, и поэтому сбалансированная водохозяйственная деятельность должна брать на себя обязательства по согласованию нужд различных водопользователей и защите окружающей среды. Инструментами ИУВР являются: общее планирование и согласование использования водных ресурсов; координация развития отраслей; информационный обмен; участие в представляющих взаимный интерес материальных и финансовых затратах.

Следует заметить, что в Водном кодексе РФ, который в целом отвечает современным требованиям интегрального управления водными ресурсами, совершенно недопустимым является отсутствие сельскохозяйственного сектора экономики в структуре формирования бассейновых округов, тогда как сельское хозяйство является одним из основных водопользователей и загрязнителей речного бассейна.

Совершенствование интегрированного управления водными ресурсами непосредственно связано с развитием аналитических методов и компьютерных (цифровых) технологий, которые и определяют современный технологический уровень управления.

Проведение децентрализации или, в другой формулировке, данной в докладе ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства (ФАО), «передача управления» была, прежде всего, вызвана проблемой недостаточного финансирования эксплуатации оросительных систем, что обуславливало повреждения и быстрый износ гидротехнических сооружений [7].

Аналогичная ситуация сложилась и в отечественной практике управления оросительными системами, о чем подробно изложено в книге «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России» [8].

Необходимость урегулирования отношений между государственными водохозяйственными организациями, на балансе которых находится магистральная и межхозяйственная часть оросительных систем, и неопределенной ситуацией с юридической принадлежностью внутриводхозяйственной сети, находящейся изначально на балансе колхозов и совхозов, переставших в результате реформ существовать, указывалось В.Н. Щедриным еще 2008 г. [9]. В данный момент внутриводхозяйственная сеть остается фактически бесхозной, что влечет за собой целый ряд негативных последствий.

Для исправления сложившейся ситуации необходимо внесение соответствующих дополнений и изменений в Закон «О мелиорации земель», закрепляющей за сельхозпроизводителями определенной доли полномочий, ответственности и соответствующего финансирования, которые обеспечивали бы легитимность принятия решений на самом низком уровне управления.

При переходе на новый высокотехнологический уровень управления главной, если не основной, является проблема учета «человеческого фактора», от которого, в конечном счете, зависит реализация научно-технических достижений.

Отчуждение управленческого персонала от результатов труда, приводящее к снижению производительности и заинтересованности в конечных результатах, наблюдалось не только при командно-административной системе управления в России, но и было свойственно странам с развитой рыночной экономикой (США, Япония и др.). Пути выхода из кризиса в разных странах были свои, но главным направлением являлся переход на использование в управлении водными ресурсами механизмов активизации социальных процессов.

Активизация социальных процессов заключается в переходе от единоличного принятия решения при административно-командной системе управления к современной рыночной модели управления, в которой используется стратегия партнерства, например, по рекомендуемой методике «MASSCOTE», изложенной в докладе ФАО «Модернизация управления орошения...» [10].

Проблема учета «человеческого фактора» не ограничивается только использованием в управлении механизмов активизации социальных процессов, но и в преодолении инерции системы управления и отхода от устоявшихся стереотипов в процессе принятия решений. Это относится как к переходу на интеграционное управление водными ресурсами (ИУВР), так и на ее составляющую, которой является децентрализация управления оросительными системами.

Чаще всего, процесс децентрализации встречал сопротивление, особенно на ранних этапах: ирригационные агентства боятся потерять работу и часть финансового обеспечения; фермеры не верят, что они смогут платить полную стоимость ирригационных затрат; и политики, которые хотят предложить бесплатные услуги по орошению сельскому населению. В этом отношении весьма полезным может оказаться опыт переходного периода в бывших республиках Средней Азии, который, например, изложен в Отчете ОБСЕ «Оценка деятельности Ассоциаций водопользователей южных областей Кыргызской Республики» [11].

Инерция системы управления проявляется также в реализации системного подхода с использованием аналитических методов и компьютерных технологий. В аналитическом докладе ОБСЕ [12], подробно описываются трудности и пути их преодоления при внедрении системных анализов в практику управления водными ресурсами Нидерландов. Указывается, что основными трудностями при переходе на современный технологический уровень управления являются: недостаток квалифицированных специалистов и затруднения, вызываемые тем фактом, что ответственные лица слишком далеки от аналитических подходов в принятии решений, поэтому требуется организация совместной работы аналитиков и лиц, принимающих решения. Отмечается, что если проблему недостатка квалифицированных специалистов можно решить в течение 10 лет, то проблему отхода от устоявшихся стереотипов в управлении лицами, принимающими решения, которые должны оценить пользу новых подходов, потребует большего времени (называется срок в 25 лет).

Таким образом, несмотря на то, что направления развития и совершенствования управления оросительными системами имеют относительное сходство во всех частях мира, которое связано с использованием организационно-правовых, экономических, технических, сельскохозяйственных и др. методов, однако не

может существовать какой-либо единой «модели». В тоже время, уже полученные уроки должны представлять основу, которую следует учитывать и использовать при переходе на новый технологический уровень управления оросительными системами с использованием современных научно-технических достижений.

Список использованных источников

1. Щедрин В.Н., Штанько А. С. Воеводин О. В., Кожанов А. Л., Жук С. Л., Шепелев А. Е. Пути совершенствования планового водопользования на оросительных. - /Научный обзор/ Новочеркасск: 2014, 36 с. [Электронный ресурс]
2. Наумова Т.В, Кушер А.М., Пикалова И.Ф. Способы сокращения захвата донных наносов во фронтальные водозаборы ирригационного назначения. [Текст]/ Т.В. Наумова, А.М. Кушер, И.Ф. Пикалова// Мелиорация и водное хозяйство, 2015, № 5-6, с.76-7
3. Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (утв. Министерством сельского хозяйства и продовольствия РФ 26 мая 1998 г.). [Электронный ресурс]:
4. Бочкарев В.Я. Новые технологии и средства измерений, методы организации водочета на оросительных системах. [Электронный ресурс]- Новочеркасск: 2012 г, 158 с.
5. Наумова Т.В., Кушер А.М., Пикалова И.Ф. Эксплуатационные методы сокращения захвата донных наносов в водозаборы оросительных систем и проблемы их внедрения. [Текст]/ Т.В. Наумова, А.М. Кушер, И.Ф. Пикалова// Мелиорация и водное хозяйство, 2017, № 1, с. 20-25.
6. Реализация принципов интегрированного управления водными ресурсами в странах Центральной Азии и Кавказа. [Электронный ресурс]- г. Ташкент, 2004 г. 128 с.
7. Передача управления ирригационными системами. Мировой опыт и результаты.- отчет ФАО по водным вопросам, 2010. Электронный ресурс:
8. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России. [Электронный ресурс]- Минсельхоз РФ – М: 2016, 224 с.
9. Щедрин В.Н., Сенчуков Г.А. Проблемы эксплуатации оросительных систем России и пути их решения. [Текст]- Сборник статей ФГНУ «РосНИИПМ» / Выпуск, 40 Часть II: Новочеркасск 2008, стр.5-8
10. Модернизация управления орошения – методика MASSCOTE. системы и услуг для различных методов эксплуатации канала. - Публикации ФАО по ирригации и дренажу, Рим, 2007. Электронный ресурс]:
11. Оценка деятельности Ассоциаций водопользователей южных областей Кыргызской Республики /Отчет ОБСЕ/. - 2010 г., 94 с.
- 12.Proceedings of Regional Seminar on Systems Analyses for Water resources development.[Text] - Water resources series, No. 61, United Nations, New York, 1985, 165 p.

УДК 631.61

ОБОСНОВАНИЕ ПРИЕМОМ КОМПЛЕКСНОЙ МЕЛИОРАЦИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ СРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ

Нефедов А.В., Евсенкин К.Н., Иванникова Н.А.

МФ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Рязань, Россия

Торфяные почвы, особенно низинные, обладают высоким потенциальным плодородием. Они содержат до 90% органического вещества и 3–4% азота; благодаря высокой влагоемкости в них создается большой запас влаги необходимой

растениям. Это дает возможность значительно повысить урожайность сельскохозяйственных культур и их плодородие [1, 4, 10, 19].

Однако интенсивная и длительная эксплуатация мелиорируемых торфяных почв привела к деградации (значительной сработки органического вещества торфа), а также и изменению их водно-физических, агрохимических и биологических свойств, что ухудшило их продуктивность [8, 15, 20].

Другой особенностью сработанных торфяных почв является неустойчивость водного режима корнеобитаемого слоя, что обусловлено следующими причинами: обеспеченностью вегетационного периода атмосферными осадками, режимом почвенно-грунтовых вод, водоудерживающими свойствами остаточного слоя торфа, разрывом капилляров на границе с подстилающей породой [14, 15, 18].

Современный подход к управлению восстановлением плодородия сработанных торфяных почв должен включать: информацию метеорологических условий, почвенную характеристику мелиорируемого объекта, оценку агроэкологической ситуации. На основании чего производится планирование гидро- и агро-мелиоративных мероприятий с разработкой их оптимальных параметров. Основными из них являются: режим увлажнения, структура посевных площадей и севообороты, приемы обработки почвы, известкование и расчет доз минеральных удобрений на запрограммируемый урожай. Конечным результатом является разработка технологических схем возделывания каждой культуры севооборота и их реализация в производство [3, 5, 6].

Актуальность разработки – интенсивное длительное использование осушенных торфяных почв приводит к их деградации, сработки органического вещества торфа, а, следовательно, и к изменению их водно-физических, агрохимических и биологических свойств, что значительно снижает их плодородие. Возникает неустойчивость водного режима корнеобитаемого слоя. Все это требует разработки новых технологических приемов повышения продуктивности сработанных торфяных почв с применением комплексных мелиоративных мероприятий.

Цель исследований – обоснование приемов комплексной мелиорации для улучшения технологии восстановления плодородия сработанных торфяных почв.

В связи с этим, назрела необходимость разработки и внедрения в сельскохозяйственное производство научно-обоснованных технологий управления плодородием сработанных торфяных почв.

Управление – это целенаправленное воздействие на объект, включая сбор информации, разработку необходимых решений и их реализацию (рис. 1).

Сработанные торфяные почвы отличаются небольшим слоем торфа (15–50 см) и по своим агрономическим свойствам и уровню плодородия заметно отличаются от собственно торфяных почв различной мощности. Они подстилаются в большинстве своем легкопроницаемыми песками, содержат меньше влаги, водный режим их неустойчив, значительно меньше содержат азота. Органическое вещество торфа при длительном использовании минерализуется, превращаясь в

перегнойное, а затем и в перегнойно-минеральное состояние, при проведении частой и глубокой обработки, органомогенный слой (остаточный торф) перемешивается с подстилающим песком и быстро минерализуется, особенно при интенсивном использовании [7, 17].

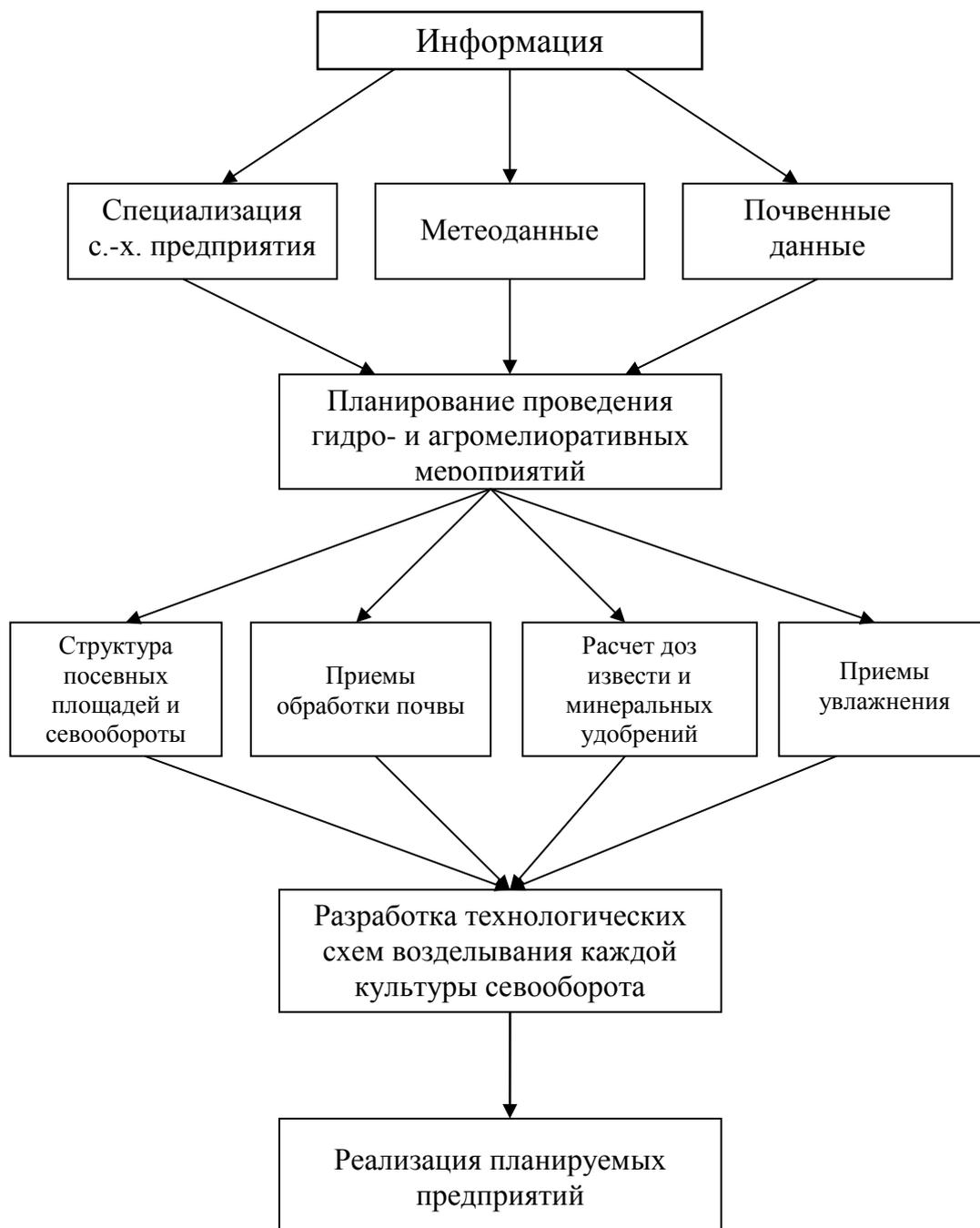


Рисунок 1 – Информационная схема управления восстановления плодородия сработанных торфяных почв

Стадийное преобразование, сработка торфяной почвы сопровождается ростом зольности, объемной массы пахотного горизонта, снижением полной влагоемкости, валовых запасов азота, фосфора и калия. Содержание запасов азота в

органно-минеральной почве, образовавшейся на конечной стадии сработки торфяной почвы в 5 раз ниже, а влагоемкость в 6 раз меньше, чем почва имела в начальный период осушения (табл. 1.)

Таблица 1 – Трансформация торфяных почв в процессе их эксплуатации (Тинки-II, Рязанская область)

Показатели	Почвенные разновидности				
	Торфяная средне-мощная	Торфяная мало-мощная	Торфяно-глеевая	Торфозем, торфянисто-глеевый	Агрозем органно-минеральный
Глубина торфяной залежи, м	1,0-1,4	0,6-0,9	0,3-0,5	15-25	-
Зольность, %	20,2	24,3	32,2	70,5	93,2
Объемная масса, г/см ³	0,22	0,28	0,35	0,78	0,96
Полная влагоемкость, % к весу сухой почвы	352,0	244,0	180,0	67,0	55,0
Азот общий, %	3,70	2,73	2,30	0,88	0,68
Фосфор валовый, %	0,32	0,21	0,18	0,15	0,11
Калий валовый, %	0,34	0,20	0,14	0,12	0,10

Сработанные торфяные почвы в основном имеют слабокислую реакцию почвенного раствора, в пределах 5,0–5,5. Сумма поглощенных оснований колеблется от 5,5 до 9,5 мг-экв. на 100 г почвы. По содержанию подвижных соединений фосфора и калия эти почвы относятся к слабообеспеченным, их наличие зависит от применяемых норм фосфорно-калийных удобрений.

Агропроизводственные свойства и уровень плодородия сработанных торфяных почв, определяются гранулометрическим составом подстилающей минеральной породы, остаточными запасами органического вещества и состоянием водного режима. По гранулометрическому составу сработанные перегнойно-минеральные почвы (агроземы) относятся к рыхло- и связнопесчаным. В Мещерском Полесье преобладающей фракцией является мелкий песок (0,25–0,01 мм), иногда средний (0,5–0,25 мм).

Сработанные торфяные почвы (агроземы) экологически неустойчивы, в большей степени подвержены ветровой и водной эрозии, а также минерализации органического вещества торфа. Эти почвы отличаются незначительным содержанием микроэлементов. Содержание меди в пахотном горизонте колеблется от 1,3 до 3,4 мг; марганца – от 37,5 до 67,5 мг; молибдена – от 0,33 до 0,65 мг; кобальта – от 0,15 до 0,27 мг на 100 г почвы.

Водный режим корнеобитаемого слоя сработанных торфяных почв неустойчив как во времени, так и в пространстве, что обусловлено следующими причинами: недостаточной обеспеченностью вегетационного периода атмосферными осадками, режимом грунтовых вод, гранулометрическим составом подсти-

лающей минеральной породы, слоем остаточного торфа и его водоаккумулирующей способностью, а также системой агромелиоративных мероприятий. Таким образом, основными факторами, влияющими на плодородие и устойчивость земледелия на сработанных торфяных почвах, являются: незначительное содержание органического вещества, неустойчивый водный режим, неудовлетворительный пищевой режим и пестрота почвенного покрова в системе одного объекта – поля.

Плодородие почв характеризуется тремя основными группами показателей: агрохимическими, агрофизическими (водно-физическими) и биологическими. Регулирование этих агрономических показателей мелиорируемых почв дает возможность оптимизировать плодородие почвы и повысить ее продуктивность. Уменьшение содержания органического вещества остаточного слоя торфа ведет к ухудшению почвенной структуры, ее водно-физических, агрохимических и биологических свойств, что в целом приводит к снижению эффективного плодородия.

В этой связи проблема регулирования рационального содержания органического вещества, восстановление почвенного потенциала плодородия требует разработки научно-обоснованной системы земледелия. Система земледелия здесь должна отличаться щадящим режимом использования, положительным балансом органического вещества и высокой экономической эффективностью [9, 11, 13].

Для обоснования применения агромелиоративных мероприятий и оценки качества их плодородия можно использовать группировку свойств торфяных почв выработанных торфяников [12] (табл. 2).

Таблица 2 – Группировка свойств торфяных почв выработанных торфяников для сельскохозяйственного использования в сельском хозяйстве

Параметры	Оценка качества почв			
	бедные	средние	хорошие	очень хорошие
	Мощность слоя торфа, см			
	< 15	15-20	20-30	30-40
С/N отношение	> 25	18-25	14-18	10-14
рНксл	< 4,5	4/5-5/5	5,5-6,0	> 6,0
Объемная масса, г/см ³	< 0,20	0,20-0,30	0,30-0,40	> 0,40
Зольность, %	< 10,0	10,0-20,0	20,0-40,0	> 40,0
Степень разложения	< 20	20-35	35-50	> 50
Сумма обменных катионов, %	< 0,50	0,50-0,60	0,60-0,75	> 0,75
	Mg / кг			
Экстрагируемое Fe	> 140	84-140	56-84	42-56
P	< 9	9-15	15-26	> 26
R	< 25	25-42	42-58	> 58

Дополнением к группировке свойств могут служить и оптимальные параметры плодородия сработанных торфяных почв при различном сельскохозяйственном использовании (табл. 3).

Таблица 3 – Оптимальные параметры плодородия сработанных почв при различном сельскохозяйственном использовании

Показатели плодородия	Вид сельскохозяйственного использования		
	Монокультура мн. злаковых трав	Лугово-кормовые севообороты	Полевой или овоще-кормовой севооборот
Уровень грунтовых вод, среднее за вегетацию, м	0,60-0,80	0,85-1,2	1,2-1,4
Влажность почвы, % от ПВ	70-85	65-75	60-75
Кислотность (рН)	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,0
Степень насыщенности основанием, %	70-75	75-80	> 80
Содержание P ₂ O ₅ , мг/ 100г почвы	25-35	35-45	45-60
Содержание K ₂ O, мг/ 100г почвы	20-30	25-30	> 30
Соотношение N : NO ₃	> 1,0	0,7-0,9	0,7-0,8

Следует заметить, что эти оптимальные параметры плодородия справедливы для сработанных торфяников с мощностью остаточного слоя торфа 15–50 см. Эффективность их использования для сельскохозяйственных культур должна оцениваться не только по величине продуктивности, но и воспроизводство плодородия, т.е. положительного баланса органического вещества. Поэтому концепция их использования должна базироваться в основном на выращивании культур, способствующих накоплению гумуса, в частности, многолетних трав, смешанных однолетних на зеленый корм и сидеральных культур.

Технологии управления сработанных торфяных почв включает комплекс организационных, инженерных и агрономических мероприятий, направленных на повышение и стабилизацию плодородия, исключая их деградацию.

Основными параметрами, составляющими комплекс, являются:

- сохранение и пополнение остаточных запасов органического вещества, главного фактора их плодородия;
- обеспечение оптимальных условий минерального питания растений;
- обеспечение благоприятного водного режима в течение всей вегетации растений, путем шлюзования или дождевания [15];
- приемы обработки деградированных торфяных почв должны быть щадящими с минимальным количеством механических рыхлений, которые

минимизируют минерализацию остаточных запасов органического вещества [2, 8, 14].

Внесение минеральных удобрений дает оптимальные условия для роста и развития растений. Доза внесения минеральных удобрений рассчитывается на планируемый урожай, при этом доза азота определяется содержанием органического вещества в почве. Дозы фосфорно-калийных удобрений определяются с учетом их содержания в почве и уровня планируемого урожая.

Почвы органоминеральные слабо и среднеминерализованные при удовлетворительном для трав водном режиме (УГВ в среднем за вегетацию 70–80 см) следует использовать под многолетние злаковые травы. При более глубоких уровнях грунтовых вод (100–140 см) эти почвы более рационально использовать в системе полевых севооборотов с обязательным включением в состав культур севооборота злаковобобовых однолетних и многолетних трав.

При возделывании сельскохозяйственных культур на сработанных торфяных почвах необходимо учитывать отношение их к водному режиму, который характеризуется влажностью почвы, зависящей от продолжительности затопления паводковыми водами, количеством выпавших осадков, глубины залегания грунтовых вод и биологической особенностью сельскохозяйственных культур.

Водный режим должен обеспечить нормальные условия для проведения сельскохозяйственных работ, роста и развития растений в течение всего вегетативного периода. Характеристикой состояния водного режима почвы на торфяных почвах является норма осушения – средняя глубина залегания уровней грунтовых вод от поверхности земли, которая определяется составом культивируемых растений и их требованиями к воде [2, 8, 15].

Установлено, что в условиях Мещерской низменности для низинных торфяников оптимальные условия для развития сельскохозяйственных культур складываются при норме осушения в среднем за вегетацию: многолетние травы – 60-70 см; зерновые – 70-80 см; картофель – 90-100 см и подсолнечник на силос – 75-85 см. Нормы осушения под эти культуры по фазам и периодам сельскохозяйственных работ приведены в таблице 4 [14, 16, 18].

Таблица 4 – Нормы осушения основных сельскохозяйственных культур по фазам вегетации для условий Мещерской низменности

№ п/п	Периоды сельскохозяйственных работ и фазы вегетации растений	Культура			
		мн. травы	зерновые	картофель	подсолнечник
		Уровни грунтовых вод, см			
1.	Посев (посадка)	40-50	50-60	70-80	60-70
2.	От массовых всходов до цветения	50-65	70-80	90-105	70-85
3.	От цветения до уборки	70-80	80-90	100-115	80-90

Такие нормы осушения обеспечивают необходимую для роста и развития растений в корнеобитаемом слое влажность: многолетние травы – 75–85, зерновые – 70–80 и пропашные (картофель, подсолнечник) – 60–75% от полной влагоемкости, аэрацию – многолетние травы – 15–25, зерновые – 20–30 и пропашные – 25–40% к объему почвы в среднем за вегетацию.

Допустимый водный режим корнеобитаемого слоя на торфяных почвах всех разновидностей следует поддерживать в пределах, показанных в таблице 5 [5, 14, 18].

Таблица 5 – Допустимый водный режим корнеобитаемого слоя

№ п/п	Показатели	Почва торфяная		
		хорошо	удовлетворит.	неудовлетворит.
1.	Приемность (затопление полыми водами), сут.	до 20	20-25	более 25
2.	Затопление водами летних и осенних паводков для всех видов севооборотов	не допускается		
3.	Переувлажнение водами выпадающих летних и осенних осадков: а) полевые севообороты с картофелем, сутки б) полевые севообороты без картофеля, сутки в) сенокосы, сутки	до 0,5 до 5-6 до 3	0,5-1,5 7-8 3-5	более 1,5 более 8 более 5
4.	Глубина залегания уровней грунтовых вод при всех видах сельскохозяйственного использования к началу оптимальных агротехнических сроков (весенних, летних и осенних полевых работ, уборки урожая), см от поверхности	60-70 и более		менее 60-70
5.	Влажность корнеобитаемого слоя (% от полной влагоемкости): а) полевые севообороты б) овощные севообороты, сенокосы	70-80 80-85	60-70 70-75	менее 60 менее 70

Мероприятия по охране сработанных торфяных почв. Система разрабатываемых в мелиоративных проектах мероприятий по охране и рациональному использованию сработанных торфяников должна соответствовать следующим требованиям:

- повышать плодородие почв, создавая благоприятные условия для положительного или компенсированного баланса органического вещества;
- обеспечить максимальный выход дешевой продукции высокого качества при минимальных объемах минерализации торфа;
- надежно защищать почвы от эрозии и пожаров.

В процессе осушения, окультуривания и сельскохозяйственного использования осушаемых торфяников осуществляются мероприятия по охране

и устранению таких сопутствующих негативных явлений, как обнажение малоплодородных и бесплодных почвогрунтов, деформация дневной поверхности, ухудшение водно-физических и агрохимических свойств почв, чрезмерная сработка торфа, накопление токсических веществ, развитие эрозионных процессов, возникновение пестроты почвенного покрова и др.

Мероприятия по оптимизации водно-физических свойств органоминеральных почв должны решать следующие задачи: стабилизировать остаточные запасы органического вещества; обеспечить их пополнение свежей органической массой, а также не допустить чрезмерного уплотнения гумусированного слоя. В наибольшей мере этому способствует возделывание многолетних трав, уплотнение зернотравяных севооборотов пожнивными и повторными культурами (в том числе запашка их на сидерат), внесение навоза, запашка соломы и послеуборочных остатков.

Глубина обработки почвы при размещении однолетних культур должна ограничиваться мощностью гумусированного слоя, не допуская при этом припашки подстилающей минеральной породы, механически увеличивающей степень минерализованности пахотного слоя.

Охрана почв также предусматривает минимальное отчуждение земель под каналы, дороги, сельскохозяйственные постройки и другие сооружения, борьбу с водной и ветровой эрозией почв, предотвращение излишней минерализации торфа и выноса питательных веществ с дренажными водами, проведение противопожарных мер и предупреждение других негативных последствий, прямо или косвенно снижающих плодородие.

В целях защиты почв и вод от загрязнения удобрениями, пестицидами, сточными водами и горюче-смазочными материалами производственные и бытовые помещения строят от источников загрязнения на следующих расстояниях:

- жилые постройки – 2000–1000 м;
- животноводческие фермы – 300–500 м;
- земельные поля орошения – 450–1000 м;
- гаражи и парки по хранению и обслуживанию автомобилей, цехи по переработке овощей и приготовлению кормов – 100 м;
- постройки для содержания животных и птицы, овощехранилища частичного пользования – 50 м.

Чистый пар на торфяных почвах недопустим; в вегетационный период они должны находиться под растительным покровом, для чего необходимо проводить посев и посадку таких сельскохозяйственных культур, которые можно использовать на формирование урожая весь теплый период года, или посев пожнивных, поукосных и других культур для получения второго урожая.

Важным мероприятием по предотвращению чрезмерной осадки и ускоренной сработки торфа разной мощности является соблюдение норм осушения, установления оптимальных режимов осушения для данной зоны и предупреждение иссушения почв с применением увлажнения: дождеванием, шлюзованием и другими способами. Для уменьшения сработки

торфа предпочтение следует отдавать проектированию и строительству на них осушительно-увлажнительных систем; на базе закрытого дренажа, дождевания и подпочвенного увлажнения; при необходимости понижения уровня воды в реках – водоприемниках предусматривают мелиоративные системы польдерного типа; на площади с уклоном поверхности земли 0,0002 и менее можно строить системы с машинным осушением.

Для предупреждения пожаров предусматривают противопожарные мероприятия, исключающие возможность загорания торфа и обеспечивающие быструю локализацию очагов пожара.

В целях защиты торфяных почв от водной и ветровой эрозии не должны осваиваться площади, использование которых под сельскохозяйственные угодья может привести к развитию эрозионных процессов, без специальных противоэрозионных мероприятий.

В пределах водоохранных зон создают лесные полосы шириной от 15 до 100 м в зависимости от крутизны прилегающих к приобретенной полосе склонов; вдоль мелких рек оставляют 10-метровую полосу луговины; вспашка и любое строительство.

Выводы

Комплексные мелиоративные научные агротехнические мероприятия: система удобрений, система обработки, севообороты, система орошения и осушения и т.д. направлены на сохранение и восстановление почвы; увеличение производства сельскохозяйственных культур и охрану окружающей среды. Данная технология позволяет: регулировать питательный режим, сохранять органическое вещество в торфяной почве, а подбор специальных культур, способствующих уменьшению поверхностного стока и перевода его в грунтовый.

Список использованных источников

1. Ванюшин, П.Н. Состояние и основные направления развития мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в Рязанской области [Текст] / П.Н. Ванюшин, А.В. Нефедов, А.В. Кузин, Н.А. Иванникова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2017. – 4 (36). – С. 11 – 17
2. Добрачев, Ю.П. Шлюзование – один из методов снижения загрязнения водных объектов минеральным азотом. Мелиорация и окружающая среда. [Текст] / Ю.П. Добрачев, К.Н. Евсенкин // Юбилейный сборник научных трудов, т.1, Москва, 2004, с.225-226.
3. Евсенкин, К.Н. Влияние нового органоминерального удобрения на плодородие почвы и урожай зеленой массы ярового рапса [Текст] / К.Н. Евсенкин, А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова // Научно-практические аспекты технологии возделывания и переработки масличных и эфиромасличных культур: материалы Международной научно-практической конференции, РГАТУ, Рязань, 3 – 4 марта 2016. – Рязань: РГАТУ, 2016. – 327 с. С. 73 – 79.
4. Евсенкин, К.Н. Воздействие органоминерального удобрительного мелиоранта на плодородие и урожай [Текст] / К.Н. Евсенкин, С.В. Перегудов, А.В. Нефедов, А.В. Фомкин, Н.А. Иванникова // «Комплексные мелиорации основа повышения продуктивности сельскохозяйственных земель» Материалы юбилейной международ. конф. – М. - ВНИИА, 2014. - С. 62.

5. Емельянова, И.М. Технологические схемы по окультуриванию и использованию выработанных торфяников в Ленинградской области // [Текст] / И.М. Емельянова, Т.Д. Кашенко, Г.А. Малышева // – Л., 1979. – С. 164.
6. Иванникова, Н.А. Удобрительный мелиорант и подпочвенное увлажнение как факторы повышения урожайности однолетних трав [Текст] / Н.А. Иванникова К.Н. Евсенкин, С.В. Перегудов, А.В. Нефедов // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 4. - С. 2 – 5.
7. Кирейчева, Л.В. Исследования пролонгированного действия органоминерального удобрения «Сапросил» и его влияние на урожай овса [Текст] / Л.В. Кирейчева, В.М. Яшин, А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова, К.Н. Евсенкин // 2 Международная научно-практическая Интернет-конференция «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования» – Солёное Займище: ФГБНУ ПНИИАЗ, 2017. – С. 1070–1075.
8. Кирейчева, Л.В. Обоснование использования удобрительно-мелиорирующей смеси на основе торфа и сапропеля для повышения плодородия деградированных почв [Текст] / Л.В. Кирейчева, А.В. Нефедов, К.Н. Евсенкин, А.В.Ильинский, Д.В. Виноградов, Н.А. Иванникова // Вестник Рязанского Агротехнологического университета имени П.А. Костычева - № 3 (31). - 2016.- с. 12 – 18.
9. Кирейчева, Л.В. Эффективность применения органоминеральных удобрений на основе внесения сапропеля. [Текст] / Л.В. Кирейчева, В.М. Яшин //Агрохимический вестник. – 2015. - №2. - С. 37-40.
10. Кирейчева, Л.В. Мелиорация земель в России: планы и реальность [Текст] / Л.В. Кирейчева // Мелиорация и водное хозяйство.2013. № 2. - С.2–5.
11. Кирейчева, Л.В. Удобрительно-мелиорирующие смеси на основе сапропелей // [Текст] / Л.В. Кирейчева, О.Б. Хохлова // Плодородие, 2004. – №4. – С. 26–28.
12. Крештапова, В.Н. Генетические особенности и оценка плодородия выработанных торфяников России // [Текст]. Докл. Межд. научн.-практ. конфер. / Повышение эффективности мелиорации сельскохозяйственных земель. – Минск, 2005. – С. 178–179.
13. Кузин, А.В. Экологическое состояние осушительных мелиоративных систем в Рязанской области / А.В. Кузин, А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова // 68-я Международная научно-практическая конференция «Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве». – Рязань: Издательство РГАТУ, 2017. – Ч. 1. – С. 376–380.
14. Маслов, Б.С. Эффективность и режим увлажнения сельскохозяйственных культур на торфяных почвах в засушливые годы // [Текст] / Б.С. Маслов, Р.Н. Марчук, Ю.А. Томин // Экспресс-информация, серия 2. – Вып. 5 «Осушение и осушительные системы». – М., 1973. – С. 8–11.
15. Нефедов, А.В. Оптимизация режима орошения с учетом экологической ситуации [Текст] / А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова // Современные энерго-и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства. Сб. тр. науч. чтения. Выпуск 13. Под ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова – 2017. - С. 60 – 64.
16. Нефедов, А.В. Мелиоративные системы Рязанской области и пути повышения их роли в сельском хозяйстве [Текст] / А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова // Современные энерго-и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства. Сб. тр. науч. чтения. Выпуск 13. Под ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова – 2017. - С. - С. 64 – 66.
17. Нефедов, А.В. Динамика образования азота в почве при внесении органоминеральных удобрений [Текст] / А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова, К.Н. Евсенкин // 2 Международная научно-практическая Интернет-конференция «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования». – Солёное Займище: ФГБНУ ПНИИАЗ, 2017. – С. 1075–1079.

18. Томин, Ю.А. Требования сельскохозяйственных культур к водному режиму. // [Текст]. Рекомендации по эффективному использованию мелиорируемых земель Рязанской области». – Рязань, 1977. – С. 41–42.

19. Томин, Ю.А. Проблема использования торфяных почв в сельскохозяйственном производстве // [Текст]./ Ю.А. Томин, Г.Г. Гулюк, Ю.П. Пожогин, А.Б. Дакукина // Экологические аспекты мелиорации земель юга Нечерноземья. – Изд-во МГУ, 2003. – С. 232–236.

20. Ушаков, Р.Н. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистых почв в процессе длительного сельскохозяйственного использования [Текст] / Р.Н. Ушаков, А.В. Нефедов, Н.А. Иванникова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. –Рязань. - 2017. – 3 (35). – С. 78–83.

УДК 631.54.04

МЕЛИОРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВ, ВКЛЮЧАЯ ПОЧВЕННЫЕ СУБСТРАТЫ

Николаенко А.Н., Меньшикова С.А.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Разработан мониторинг почвенных объектов для целей мелиорации, который отличается от известных подходов тем, что из многочисленных почвенных характеристик выбираются те, которые влияют на продуктивность сельскохозяйственных культур и определяют экологическое состояние объекта. Показана специфика мониторинга при применении почвенных субстратов как мелиорирующих веществ.

Ключевые слова: ПОЧВА, ГЕОСФЕРА, ТИПЫ ПОЧВ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВЕННЫЕ СУБСТРАТЫ.

1. Мониторинг почв

Согласно современным представлениям, почва является природно-историческим телом, покрывающим поверхность суши. Почва обеспечивает поддержание жизни на планете путем выполнения ряда важнейших природно-экологических и социально-экономических функций. В общем виде общепланетарные функции определяются ролью почвы в процессах, регулирующих состояние основных геосфер Земли: атмосферы, биосферы, гидросферы и литосферы. В более узком значении, почва, как объект сельскохозяйственных мелиораций, является средой произрастания растений, источником элементов их питания, водообеспечения, определяет биопродуктивность природных экосистем. Почва, как сложный природный продукт, характеризуется набором характеристик и свойств в их количественном выражении, которые принимают различные значения для различных ее разновидностей. Кроме того, эти свойства могут изменяться во времени для одного и того же почвенного объекта в процессе его генезиса или в результате антропогенного воздействия. Задачи мониторинга состоят в построении системы наблюдения за состоянием почвенных объектов через изменения их

количественных свойств с целью анализа этих изменений и принятия решений о применении необходимых мелиоративных воздействий.

В 2014 году совместным трудом ученых Почвенного института им. В.В. Докучаева и Факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова был выпущен научно-регламентный документ - Единый государственный реестр почвенных ресурсов России, представляющий собой полную инвентаризацию всего разнообразия почв страны с целью создания единой научно-технической основы для развития и сопровождения государственной политики в области использования почв и земельных ресурсов страны, формирования национальных стандартов качества, систем сертификации почв, мониторинга их состояния и решения других задач [1]. Единый государственный реестр почвенных ресурсов состоит из четырех разделов, включающих описание почв, почвенных ресурсов субъектов Российской Федерации, почвенно-экологического районирования и цифровой модели описания почвенных данных. Рекомендуется в качестве руководства при проведении почвенных обследований и изысканий, работ по мониторингу почв (земель), рациональному их использованию и охране, государственному учету земель и земельному кадастру. В соответствии с концептуальной структурой ЕГРПР, раздел «Почвы» представлен:

Семантической частью, включающей диагностику и описание почв, которые реализуются через название почв и характеристики объектов: «Разрез- Горизонт-...- Образец»;

Геометрической частью, включающей полигоны цифровой почвенной карты РСФСР масштаба 1:2 500 000 (Фридланд, 1988).

В задачи данной работы входит: выбор основных характеристик объекта, идентификация почвенных объектов, выбор наиболее существенных для мелиорации свойств почв из предложенных в ЕРПР, определения формы их представления.

Принимается, что объект о характеризуется значением v показателя i , определенного методом m , [2].

Характеристики почвенных объектов. Исходным основным объектом описания и диагностики почв в ЕГРПР выступает морфогенетический горизонт. Почвенный горизонт - специфический слой почвенного профиля, образовавшийся в результате воздействия почвообразовательных процессов (ГОСТ 27593-88 2005). Объект Разрез – элемент нулевого уровня иерархического строения почвенного тела, описываемый набором показателей, характеризующих факторы почвообразования, общегеографическую обстановку, местоположение и время заложения почвенного разреза. Объект Профиль – элемент первого уровня иерархии вертикального строения почвенного тела, описываемый набором показателей, характеризующих почвенный профиль в целом - наименования почв, генетический тип профиля, количество почвенных горизонтов, глубины вскипания, мерзлоты, грунтовых вод. Объект Горизонт – элемент второго уровня иерархии вертикального описания строения почвенного тела. Физически представлен

последовательностью субгоризонтальных частей почвенного профиля, пересекающих всю стенку почвенного разреза и отделяемых друг от друга на основании генетических признаков.

Основные почвенные горизонты. Основные морфогенетические горизонты почвенного профиля являются результатом функционирования ведущих (профилеобразующих) почвообразовательных процессов. Последние обозначаются заглавными латинскими буквами и арабскими цифрами ($A_1, \dots, B_2, \dots, C..$). А-перегнойно-аккумулятивный горизонт накопления органики, азота и элементов зольного питания растений, В-иллювиальный горизонт, С- измененная в процессе почвообразования материнская порода, индексы обозначают различные подгоризонты. Объект Слой – элемент второго уровня иерархии вертикального описания строения почвенного тела. Отличается от объекта Горизонт методом определения границы - не по генетическим признакам, а прямой фиксацией верхней и нижней глубин выделяемого почвенного слоя. Объект Образец – элемент третьего уровня иерархии вертикального описания строения почвенного тела, характеризуемый набором физических, физико-химических и химических показателей.

Физически представляет собой часть почвенного горизонта. Идентификация почвенных объектов. Для проведения мониторинга изначально необходимо иметь представление о том, с какой разновидностью почв мы имеем дело. В науке и практике почвенных исследований применяются различные системы классификации почв [3]. На территории Российской Федерации встречаются следующие типы почв: арктические почвы, тундровые глеевые почвы, мерзлотно-таежные, подзолистые, серые и бурые лесные почвы, черноземы, каштановые почвы. Более точная идентификация почв осуществляется по их названию. Название почвы представляет собой интегральный показатель почв, который относится к интенциональному виду определений, представляющих собирательные, часто генетические определения. Перечень почв ЕГРПР насчитывает 205 разновидностей, которые включают единицы различного классификационно-таксономического ранга. Одни разновидности представляют генетические типы почв (например, дерново-глеевые почвы, солоды и др.); другие - подтипы (темно-серые, серые, светло-серые лесные, темно-каштановые, светло-каштановые и др.); третьи – роды (подзолистые почвы со вторым осветленным горизонтом, лугово-черноземные осолоделые, каштановые солонцеватые и др.

Свойства почв. Как особое естественно-историческое образование, почва характеризуется сложным вещественным составом, которое описывается разнообразными морфологическими, химическими и физическими свойствами.

Морфологические свойства. Морфологические свойства почв представляют совокупность внешних признаков, доступных простому визуальному или простому инструментальному, например, при помощи ленты с сантиметровыми делениями, наблюдению. Иногда используются более точные инструменты визуального исследования, например, поляризационные микроскопы, применяемые для изучения микроскопических морфологических признаков почв.

Химические свойства почв. Химические свойства включают обширный круг почвенных показателей состава минеральной и органической частей почв и протекающих в почвах процессов на ионно-молекулярном и коллоидном уровнях, определяемых лабораторными методами и характеризующих свойства, их взаимодействие и изменения при почвообразовании, хозяйственном использовании, а также химические методы исследования и анализа почв.

В ЕГРПР приведено более ста химических свойств почв. Из всего многообразия выберем основные, на наш взгляд, свойства, которые определяют структурные, продуктивные, экологические характеристики почвенных объектов и могут составить основу химических свойств мелиоративного мониторинга почв (табл.1). В данном случае приведенные нами химические свойства почв разделены на группы: пищевые, солевые и экологические. В последнюю, экологическую группу добавлены свойства, отражающие содержание токсичных тяжелых металлов и радиоактивных элементов

Таблица 1 - Химические свойства почв мелиоративного мониторинга

СВОЙСТВО	ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПИЩЕВЫЕ СВОЙСТВА	
MnO ₂ в почве	Содержание марганца в почве в пересчете на MnO ₂
P ₂ O ₅ в почве	Содержание фосфора в почве в пересчете на P ₂ O ₅
K ₂ O в почве	Содержание калия в почве в пересчете на K ₂ O
Общий азот	Содержание общего азота
Гумус	Содержание гумуса
Микроэлементы	Содержание Zn, Cu, Co, Mo, B, мг/кг
СОЛЕВЫЕ СВОЙСТВА	
Водная вытяжка	Содержание анионов HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻² , мг.экв/100 г.
	Содержание катионов Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , мг.экв/100 г.
Состав ионов ППК	Содержание ионов Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ в почвенном поглощающем комплексе, мг.экв/100 г.
ЕКОст	Емкость катионного обмена стандартная
pH водной суспензии	pH водной суспензии (pH H ₂ O, потенциометрический метод)
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	
Токсичные тяжелые металлы	Содержание Cd, Hg, Pb, мг/кг
Радиоактивность	Мерой радиоактивности A является скорость распада числа радиоактивных атомов N за время t: A=N/t

Методы количественного определения химических показателей составляют довольно значительный раздел химии почв [4.]; Вопросы радиоактивности почв и методов ее измерения достаточно подробно изложены в монографии [5]. Единицами измерения радиоактивности являются беккерель и кюри: Беккерель (Bк), 1 Бк=1 расп/с; Кюри (Ci), 1 Ки=3,7x10¹⁰ расп/с. Содержание радиоактивного

вещества в различных материалах, например, почве, оценивается по удельным активностям a_m , a_v . $a_m=A/m$ – массовая удельная активность, $a_v=A/v$ – объемная удельная активность. Распад радиоактивных элементов сопровождаются появлением α , β , γ , n – излучениями, которые негативно влияют на биологические объекты.

Физические свойства. Физические свойства почв представляют совокупность свойств, характеризующих состояние почвы и ее отношение к различным физическим воздействиям. Физические свойства почвы определяются гранулометрическим и минералогическим составом частиц, качеством и содержанием органического вещества, агрегированностью почвенных частиц, сложением, пористостью и плотностью почв, а также соотношением и составом разных фаз почвы (твердой, жидкой и газообразной). Принято рассматривать в почвоведении 42 физических свойства почв, наиболее важные из них для задач мелиорации приведены в таблице 2. Крайне желательно в свойствах почвенного объекта указывать важную для мелиорации характеристику уровень грунтовых вод (УГВ).

Таблица 2 - Основные физические свойства почв

Свойство	Определение
Гранулометрический состав (аналитический метод)	Гранулометрический состав почвы (аналитический метод по Качинскому)
Удельная поверхность	Величина удельной поверхности почвы
Плотность почвы	Отношение массы сухой почвы, взятой без нарушения природного сложения, к ее объему
Плотность твердой фазы	Плотность твердой фазы почвы
Порозность почвы	Порозность почвы
Гигроскопическая влажность	Гигроскопическая влажность (ГВ) почвы
Наименьшая влагоемкость	Наименьшая влагоемкость (НВ) почвы
Влажность завядания	Влажность завядания (ВЗ) почвы
Полная влагоемкость	Полная влагоемкость (ПВ) почвы
Водопроницаемость	Величина водопроницаемости почвы

Определения физических свойств почв, методы их изучения и измерения приведены в учебнике [6].

Формы представления мониторинга почв. Данные полученные в результате мониторинга почв целесообразно представлять в табличной форме. Заголовок таблицы должен отражать информацию о типе почвы, ее названии (если оно установлено), географическом названии места нахождения почвенного разреза, его координаты, номер почвенного разреза, дата проведения мониторинга. Содержательная информация по почвенным свойствам должна быть отнесена к конкретным почвенным слоям, из которых были отобраны почвенные образцы для анализа с целью установления количественных значений изучаемого свой-

ства. Рекомендуется проводить анализ в пятикратной повторности для представления количественных результатов в интервальной форме с использованием критерия Стьюдента с вероятностью 0,95 [7]. В таблице 3 приведен пример представления результатов мониторинга почвенного объекта.

Таблица 3 - Мониторинг почв: чернозем, Краснодарский край, станица Деньская; 45° С.Ш., 45° В.Д.; разрез № 1, 10.06.2017

Химические свойства почвы										
Слой, см	Состав водной вытяжки, мг.экв/100 г						ППК, мг.экв/100 г			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca	Mg	Na	ЕКО
0-10	1,2±0,2	0,5±0,1	0,3±0,1	0,1±0,05	0,6±0,1	0,5±0,1	19±2	3±1	2±0,05	24
10-20	0,6±0,2	0,4±0,1	0,2±0,1	0,2±0,05	0,6±0,1	0,6±0,1	18±2	4±1	2±0,05	24
200 угв	1,4±0,2	0,6±0,1	0,3±0,1	0,3±0,05	0,4±0,1	0,5±0,1	17±2	5±1	2±0,05	24

Для эффективного хранения и использования результатов мониторинга в научных и прикладных целях в мелиорации необходимо применении современных информационных технологий – разработать базу данных (БД). Применение БД позволит быстро находить требуемую информацию, исключать повторные изыскательские работы, экономить время и финансовые ресурсы.

2. Обоснование и разработка показателей мониторинга почв при их мелиорации с применением искусственных субстратов

Новой и безопасной технологией сохранения почвенного покрова является внесение искусственных субстратов широкого спектра действия, способных заменить естественные утрачиваемые качества почв. Эти вещества представляют собой органо-минеральные соединения с известным химическим составом и строением, что позволяет в той или иной степени спрогнозировать их воздействие на почву. Мониторинг в этом случае необходимо вести с учетом их применения.

Применение синтетических материалов позволяет конструировать почвы с заданными технологическими характеристиками, дающими возможность обеспечить устойчивость земледелия на объектах с повышенной техногенной нагрузкой. Кроме того, некоторые разновидности продуктов синтеза полимерных материалов с органо-минеральными веществами, обладающие свойством постепенного высвобождения элементов питания, позволяют использовать их для длительного обеспечения растений питательными веществами, то есть выступают в качестве комплексных медленнодействующих удобрений. Исходный химический состав применяемых препаратов, а также их физико-механические свойства являются необходимыми сведениями при определении показателей, по которым будет осуществляться мониторинг. За последние десятилетия были созданы и апробированы десятки тысяч различных веществ и препаратов, но, по эколого-экономическим причинам, лишь некоторые нашли практическое применение в земледелии. Учитывая многообразие почвенных ресурсов, их структурных форм и химического состава, а вместе с тем и изобилие существующих материалов для

изготовления субстратов, различающихся как по физико-химическим свойствам, так и по принципу и продолжительности действия, выработка универсальной системы показателей мониторинга почв при их мелиорации с применением искусственных субстратов является весьма сложной задачей.

Для эффективной оценки почвенных объектов, включая искусственные субстраты, при осуществлении мониторинга почв необходимо вести систематические и комплексные наблюдения определённого набора показателей с достаточным количеством повторных наблюдений. Набор показателей в каждом случае может варьироваться в зависимости от исходных физико-химических свойств вносимого вещества и характеристик самой почвы. Диагностика изменений, в первую очередь, должна проводиться по ключевым параметрам, влияние на которые было ориентировано внесением препарата. Также необходимо учитывать дозу, сроки внесения и продолжительности действия вещества. Помимо характеристики базовых свойств в полевых условиях исследований требуется мониторинг почвенных режимов и экологический контроль параметров функционирования почвенных конструкций, получаемых на основе применяемых субстратов. Под воздействием искусственных субстратов будут в большей или меньшей степени меняться тепловая, воздушный, водный и питательный режимы мелиорируемых почв. Показатели мониторинга должны включать параметры, отражающие изменения этих режимов.

Таким образом, показатели мониторинга почв можно разделить на две группы:

Единая система показателей мониторинга земель - это общие показатели, которые являются едиными и универсальными для всех типов почв не зависимо от вносимых веществ;

Частные показатели, собираемые на основе применения мелиорирующих веществ и прогноза их влияния на почву.

Организация оценки почвенных объектов и определение показателей мониторинга почв при их мелиорации с применением искусственных субстратов может быть выполнена в последовательности, представленной на рисунке 1.

Мониторинг почв при внесении мелиорирующих субстратов должен включать определение следующих дополнительных показателей:

определение рН (актуальная, потенциальная);

определение гумуса;

определение тяжелых металлов (Hg, As, Pb, Cu, B, Cd);

определение водных свойств почвы (водопроницаемость, водоподъемная способность, влагоемкость);

биотические показатели (микробиологическая диагностика).

Мониторинг может также включать определение дополнительных параметров в зависимости от изначального химического состава вносимого субстрата. Перечень показателей качества применяемых субстратов определяется совокупностью таких тесно связанных друг с другом характеристик, как:

содержание питательных веществ;

гигроскопичность;

слёживаемость;
гранулометрический (фракционный) состав;
прочность гранул;
влажность;
растворимость в воде;
размеры и форма частиц;
насыщенная плотность;
механическая прочность;
давление в слое удобрения;
продолжительность хранения;
метеорологические условия хранения.



Рисунок 1 - Схема последовательности действий по определению показателей мониторинга почв при их мелиорации с применением искусственных субстратов

Эти показатели могут быть регламентированы в соответствии с нормативными документами, устанавливающими показатели качества минеральных и органических удобрений.

Мониторинг почв должен также отражать ряд биотических характеристик, таких как содержание гумуса, оценка разнообразия и видового состава педобионтов и растительного покрова [8,9]. Необходимость диагностики качества почвы

по биотическим показателям обоснована тесной взаимозависимостью минералогического состава материнской породы и биологического фактора почвообразования. Биотические показатели состояния микроорганизмов могут дать информацию о трансформировании почвенной экосистемы и степени приемлемости воздействий.

Список использованных источников

1. Шоба С.А., Алябина И.О., Колесникова В.М., Молчанов Э.Н., Рожков В.А., Столбовой В.С., Урусевская И.С., Шеремет Б.В., Конюшков Д.Е. Почвенные ресурсы России. Географическая почвенная база данных. М.: ГЕОС, 2010.
2. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография. –М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2014. -768 с.
3. Плюснин И.И. Мелиоративное почвоведение. - М.: Колос, 1971 Воробьева Л.А. Теория и практики химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006.
4. Воробьева Л.А. Теория и практики химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006.
5. Фокин А.Д., Лурье А.А., Торшин С.П. Сельскохозяйственная радиология. СПб.: Лань, 2010.
6. Качинский Н.А. Физика почвы, ч.2. М.: Высшая школа, 1970.
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1972.
8. Терехова, В. А. Биотестирование почв: подходы и проблемы. // Почвоведение, 2011, - № 2, - С. 190-198.
9. Павлова, Л. П. Шумилова, В. И. Радомская, И. М. Котельникова, Н. А. Тимченко, А. Г. Сергеева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2015, - том 17, - № 5, - С. 45 – 51.

УДК 631.6, 556.04

МОНИТОРИНГ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ

Овчинникова Е.В.

ФБГНУ «ВНИИГиМ им.А.Н.Костякова», г. Москва, Россия

Мониторинг поверхностных водных объектов на мелиорированных землях проводится в соответствии с положениями Водного кодекса РФ, Государственного мониторинга водных объектов, Постановлений правительства РФ, Государственных и отраслевых стандартов и Руководящих документов [1-8].

Целью мониторинга поверхностных водных объектов при мелиорации земель является создание необходимых условий для обеспечения устойчивого экологически безопасного функционирования гидромелиоративных систем для получения стабильных урожаев доброкачественной сельскохозяйственной продукции и предотвращения загрязнения почв и водных источников.

В задачи мониторинга входят: постоянные наблюдения за состоянием поверхностных водных объектов; сбор, хранение и обработка данных наблюдений; создание и ведение банков данных; оценка, составление прогнозов изменения

состояния водных объектов и передача соответствующей информации заинтересованным службам и федеральным органам.

Исходя из поставленных цели и задач мониторинг поверхностных водных объектов на мелиорированных землях относится к режимному виду наблюдений и осуществляется на локальном и территориальном, реже бассейновом уровнях.

Объектами мониторинга в пределах оросительной системы являются водопроводящая и водоотводящая сеть: водозабор, магистральные, распределительные и оросительные каналы, коллекторно-дренажная сеть.

При сборе исходных данных для организации мониторинга проводится анализ водохозяйственной обстановки и предварительная оценка эффективности использования воды и ее качества (потери воды в каналах и качество воды водозаборного сооружения, оросительных и коллекторно-дренажных вод) в пределах оросительной системы и на территориальном уровне по информационным материалам Росводресурсов МПРиЭ РФ и службы Росгидромет.

Для выбора системы показателей, характеризующих состояние водного объекта, определяется номенклатура показателей, подлежащих оценке. При мониторинге качества воды в гидромелиорации показатели оценки качества воды должны быть уточнены применительно к природным и хозяйственным условиям конкретной мелиоративной системы.

К основным показателям, подлежащим мониторингу относят общую минерализацию, рН, содержание органических веществ, соотношение ионов натрия к кальцию и магнию, содержание соды, сульфатов, хлоридов, нитратов, нитритов, аммиака, фосфора, а также пестицидов и гербицидов. Учитывают опасность влияния на растения общего содержания солей, повышенного содержания бикарбоната натрия, хлора, магния, лития, бора [5].

Отбор проб для проведения режимных наблюдений за состоянием и загрязнением воды проводится на пунктах наблюдений. Под пунктом наблюдения следует понимать место на водоеме или водотоке, в котором производят комплекс работ для получения данных о качестве воды. Пункты наблюдений организуют в первую очередь на водоемах и водотоках, имеющих большое хозяйственное значение, а также подверженных значительному загрязнению сельскохозяйственными сточными водами.

Пункты наблюдений устанавливают с учетом существующего использования водоема для нужд хозяйства, а также перспектив его развития на основании предварительных исследований.

На оросительной системе пункты наблюдений устанавливаются:

- при заборе воды из водоисточника;
- при подаче воды на орошаемые земли от магистрального канала до распределительных каналов разного порядка для подачи воды на севооборотные участки;
- пункты контроля качества коллекторно-дренажных вод при организованном сбросе их в водоисточник, коллекторы и на границах севооборотных участков.

В пунктах наблюдений организуют один или несколько створов. Под створом понимают условное поперечное сечение водоема или водотока, в котором производится комплекс работ для получения данных о качестве воды.

Местоположение створов устанавливают с учетом гидрологических особенностей водного объекта, расположения источников загрязнения, количества, состава и свойств сбрасываемых сточных вод, интересов водопользователей и водопотребителей.

Один створ устанавливают на водотоках при отсутствии организованного сброса сточных вод в устьях загрязненных притоков, на незагрязненных участках водотоков.

При наличии организованного сброса сточных вод устанавливают на водотоках два створа и более. Один из них располагают выше источника загрязнения (вне влияния рассматриваемых сточных вод), другие – ниже источника (или группы источников) загрязнения в месте полного смешения. Химический состав воды в пробе, отобранной в створе выше источника загрязнения, характеризует фоновые показатели качества воды водотока в данном пункте.

Сравнение фоновых показателей с показателями качества воды в пробе, отобранной ниже источника загрязнения, позволяет судить о характере и степени загрязненности воды под влиянием источников загрязнения данного пункта [2].

Периодичность и частота наблюдений определяется в соответствии с особенностями конкретной гидромелиоративной системы и зависят от класса системы (величины обслуживаемой площади), природно-климатических условий и выявленных загрязняющих веществ в водоисточниках и коллекторно-дренажных водах.

Наблюдения за химическим составом оросительных вод при выявленной повышенной минерализации или при неблагоприятном ионном составе необходимо проводить ежедекадно или ежедневно в соответствии с выбранной программой наблюдений (обязательной или сокращенной) [1].

При наблюдении за коллекторно-дренажными водами основное внимание необходимо уделить контролю остаточных количеств вод тяжелых металлов, содержащихся в минеральных удобрениях и пестицидах. Периодичность контроля химического состава коллекторно-дренажных вод должна составлять не менее 1-2 раз в месяц, а в период промывок возрастать до 3-4 раз [5].

Для оборудования наблюдательной сети необходимой измерительной аппаратурой, применяется широкий спектр современных мобильных и стационарных автоматических пробоотборников, портативных анализаторов качества воды. Например, многопараметрический анализатор качества воды Aquameter, производящий измерения мутности, солености, проводимости, рН, растворенных веществ и ряда других параметров в полевых условиях и оснащенный GPS модулем, для привязки ряда измеренных данных к географическим координатам места взятия пробы [9]. В инновационной компании ООО "МедЭкоТест" разработаны и производятся тест-системы более чем 45 показателей (ионы металлов, анионы, органические соединения), позволяющие получить информацию о химическом составе воды непосредственно на месте отбора пробы при времени анализа 5 – 15 минут [10].

Данные о результатах анализа проб воды заносят в журналы по требуемой форме, установленной руководящими документами и приспособленной для занесения на машиночитаемые носители, на основании которых осуществляется формирование банка данных наблюдений, внесение данных в информационный реестр.

Передача информации со стационарных постов осуществляется комплексом программно-аппаратных средств для сбора и выдачи выходной информации. Данные мониторинга представляются на электронных носителях в виде файлов с сопроводительным письмом.

В результате проведенных исследований разработана структурная схема информационной технологии мониторинга поверхностных водных объектов, представленная на рисунке 1.

Структурная схема информационной технологии мониторинга поверхностных водных объектов включает следующие этапы:

- *Сбор исходных данных* для организации мониторинга: анализ экологической ситуации водного объекта по оперативной и архивной информации;

- *Обоснование постановки работ* – определение целей и задач мониторинга, видов наблюдений и выделение объектов наблюдений. Структурная схема проведения локального мониторинга.

Объекты мониторинга – водопроводящая и водоотводящая сеть ГМС: водозабор, магистральные, распределительные и оросительные каналы, сбросная и коллекторно-дренажная сети.

Определяемые показатели: В соответствии с требованиями Руководящего документа РД 52.24.309-2011 [4] анализы производятся комплексно по гидрохимическим (физическим и химическим), гидробиологическим, токсикологическим показателям; одновременно с проведением этих наблюдений определяют гидрологические показатели.

Выбор числа и расположения пунктов наблюдения – наблюдательные посты устанавливаются:

- при заборе воды из водоисточника (или водозаборного сооружения);

- при подаче воды на орошаемые земли;

- контроль качества сбросных и коллекторно-дренажных вод при сбросе их в водоисточник и на границах севооборотных участков.

Продолжительность мониторинга – на протяжении вегетационного периода, фоновые наблюдения – круглогодично.

Выбор аппаратуры и оборудования:

- оборудование стационарных химических лабораторий;

- мобильные и стационарные пробоотборники;

- портативные анализаторы качества воды.

Методы измерения: – качественные, количественные, титриметрический (объемный), термометрический, электрометрический, кондуктометрический, весовой, комплексометрический, потенциометрический, титриметрический с ЭДТА, пламенно-фотометрический, колориметрические газожидкостной (ГЖК) и тонкодисперсной (ТСХ) хроматографии и др.

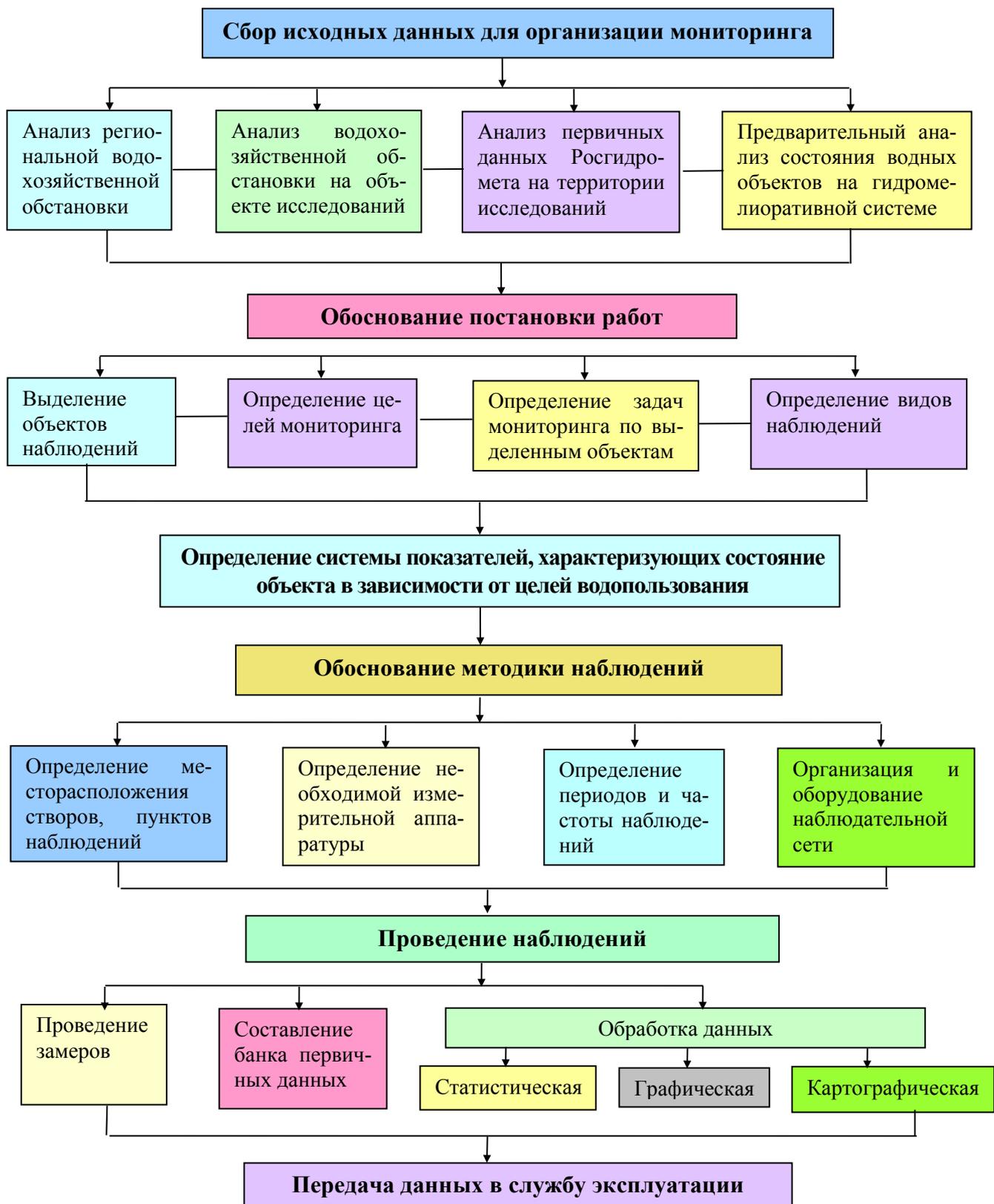


Рисунок 1 – Структурная схема информационной технологии мониторинга поверхностных водных объектов

Методы измерения в полевых условиях:

- экспресс-методы – измерения портативными анализаторами качества воды;
- методики тест-систем на основе реагентных смесей и др.

Проведение измерений – в зависимости от выбранного метода измерения: проба воды для анализа может быть получена несколькими способами: 1. Путем однократного отбора всего количества воды, нужного для анализа. 2. Смешением проб, отобранных через определенные промежутки времени в одном месте исследуемого водоема. 3. Смешением проб, отобранных одновременно в разных местах исследуемого водоема.

Методы обработки результатов измерений – данные о результатах анализа проб воды заносят в журналы по требуемой форме, установленной руководящими документами и приспособленной для занесения на машиночитаемые носители, на основании которых осуществляется формирование банка данных наблюдений. Анализ и интерпретация результатов измерений – создание графических моделей, построение графиков, диаграмм, картограмм, картодиаграмм и др., создание на основе полученных результатов баз данных. Передача информации со стационарных постов осуществляется комплексом программно-аппаратных средств для сбора и выдачи выходной информации в удобной для оператора центрального пункта форме. Данные мониторинга представляются на электронных носителях, первичная информация обрабатывается и хранится в компьютерах.

Представление информации – информацию, получаемую ведомственной наблюдательной сетью, формируют и передают в виде отдельных файлов в территориальные органы в графическом и табличном вариантах.

Распространение информации - по информационным материалам Федеральных агентств составляются и публикуются (с размещением на сайте МПРИЭ РФ) ежегодные Государственные доклады "О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации" для обеспечения органов государственной власти и местного самоуправления, юридических лиц и граждан объективной систематизированной информацией о состоянии и использовании водных ресурсов в России.

Таким образом, экологический мониторинг поверхностных водных объектов на основе применения современных методов получения, обработки, обмена, передачи данных является важным инструментом управления экологической ситуацией на мелиоративной системе и позволяет формировать необходимые оперативные и управленческие решения для обеспечения ее устойчивого функционирования.

Список использованных источников

1. Тихонова И.О. Экологический мониторинг водных объектов. [Текст] / Тихонова И.О., Кручинина Н.Е., Десятов А.В.// М.: Форум, 2012.
2. Тунакова Ю.А. Экологический мониторинг. [Текст] / Тунакова Ю.А., Желовицкая А.В., Шагидуллина Р.А., Иванов Д.В. Экологический мониторинг. //Казань: Изд-во "Отечество", 2014.

3. Постановление Правительства РФ от 10.04.2007 г. № 219 "Об утверждении положения Государственного мониторинга водных объектов". Интернет-ресурс: http://set.rk.gov.ru/rus/file/pub/pub_239039.pdf

4. Руководящий документ 52.24.309-2011 "Организация и проведение режимных наблюдений за качеством поверхностных вод суши". Утвержден Росгидрометом 25.10.2011 г.

5. Методические рекомендации по контролю за мелиоративным состоянием орошаемых земель. Вып. 1, 2. М.: ВНИИГиМ, 1978. – 108 с.

6. Дедова Э.Б. Методические положения создания комплексного мониторинга водных ресурсов мелиоративных систем Республики Калмыкия. [Текст]/ Дедова Э.Б., Дубенок Н.Н., Бородычев В.В., Исаева С.Д., Сазанов М.А. –М., 2017. – 97 с.

7. Щедрин В.Н. Методические указания по контролю состояния дренажно-сбросных вод и учету стока и выноса растворенных веществ. [Текст] / Щедрин В.Н., Капустян А.С., Гостищев В.Д., Пономаренко Т.С., Кузьмичев А.А., Сахаров Р.Ю. //ФГБНУ "РосНИИПМ". Новочеркасск, 2015 г.

8. Охрана природы. Геосфера. Организация и порядок проведения наблюдений за содержанием остаточных количеств пестицидов, регуляторов роста растений и основных токсичных продуктов их разложения в объектах природной среды: РД 52.18.263-90: утв. Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии 01.03.91 № 263: введ. в действие с 01.03.91. – М., 1991. – 75 с.

9. Интернет-ресурс: <http://www.volgaltd.ru/rus/equipments/kachestvo-vody.html>.

10. Интернет-ресурс: <http://www.medecotest.ru>.

УДК 389:631.612

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И МАШИН ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ПОЧВ С СОЛОНЦОМ

Пунинский В.С.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» г. Москва, Россия

Целью исследований является обоснование новых способов почвосбережения на основе разработки самоходных комбинированных агрегатов и ярусной обработки почвогрунтов с устройством водорегулирующих экранов, обеспечивающих водосбережение. Показаны варианты технологических процессов с адресной обработкой горизонтов без выноса продуктов химических реакций в водоприемники и реки. Обоснована область использования комбинированных агрегатов с одновременной ярусной обработкой почвенных и солонцовых горизонтов. В результате исследований разработана схема применения возможных технологий и путей трансформации их к достигаемому ресурсосбережению.

Ключевые слова: ТЕХНИКА, ДЕГРАДИРОВАННЫЕ ЗЕМЛИ, ВЛАГОНАКОПЛЕНИЕ, ВЛАГОСОХРАНЕНИЕ, ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЙ ЭКРАН, УДОБРИТЕЛЬНАЯ ПРОСЛОЙКА.

В Российской Федерации наблюдается широкомасштабное развитие деградиционных процессов на землях сельскохозяйственного назначения. Деградация почв в России обусловлена комплексом природных и антропогенных процессов, включающих зарастание кустарником, эрозию, засоление и заболачивание почв, уплотнение, перевод земель сельскохозяйственного назначения в залежь и отказ сельских жителей в их перерегистрации и обработке. Прирост деградированных

земель достигает до 1,5 млн. га в год (Гордеев, Романенко, 2008). Деградированные сельскохозяйственные земли на площади 42,6 млн. га подвержены водной эрозии, ветровой — 26,4 млн. га, переувлажнению и заболачиванию подвержено 24,1 млн. га, а засоленные почвы имеют общую площадь более 54 млн. га, из которых на долю солонцов приходится 22 млн. га. [1, 2, 3]. На орошаемых землях площадь их составляет соответственно 1196 и 456 тыс. га. Традиционное использование этих почв по аналогии с зональным сопровождается рядом негативных последствий, связанных с вторичным засолением, ощелачиванием и осолонцеванием, уплотнением и слитизацией. В зависимости от степени засоления урожай сельскохозяйственных культур на таких почвах снижаются до 30...50%, а иногда и до 100% [4]. Разработка новых водосберегающих технологических процессов и почвосберегающих технических средств для их осуществления актуальна и отвечает основной цели мелиорации - обеспечению устойчивой продуктивности сельскохозяйственных угодий и получению конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции.

Цель исследований — обоснование путей ресурсосбережения для разработки новых способов почвосбережения на основе самоходных комбинированных агрегатов и ярусной обработки почвогрунтов с устройством водорегулирующих экранов и для улучшения почв с комплексами солонца, богарных кормовых сельхозугодий, оснащения строительных организаций интенсивными приёмами производства мелиоративных работ.

Материалы и методы. Изучены базовые типизированные технологии и технические средства для выполнения мелиоративных работ на деградированных землях с солонцовыми комплексами. Исследования проводились по общепринятым методикам с использованием научно-практических методов определения прогнозных технико-экономических показателей ведущих машин [5, 6]. Для осуществления разработки новых ресурсосберегающих технологических процессов обработки деградированных сельхозугодий с солонцами применяется целевая функция минимизации затрат (руб/га):

$$Y = f(C_e) \longrightarrow \min, \quad (1)$$

где: C_e - удельные затраты, руб/га.

Определение удельных затрат базируется на использовании прогнозных основных параметрах новых почвосберегающих ведущих машин. Выбор основных параметров ведущих машин предусмотрен методом имитационного моделирования, в котором сложная система является взаимосвязанной совокупностью математических моделей (критериев), то есть набора переменных, варьирование которых позволяет подбирать оптимальный параметр. Имитационная модель сформирована для выборки технических средств.

В качестве целевой установки необходимо определить V - прогнозные параметры новых почвосберегающих ведущих машин. Для исследований применен выборочный метод по объектам представителям, т.е. по ранее разработанным машинам и присутствующим на рынке.

По разработанному алгоритму решения задачи при оптимизации использован поэтапный подход, основанный на методике полного перебора. Предусмотрен цикл предварительной настройки математических описаний корреляционных зависимостей: мощности от удельной материалоемкости, расхода топлива от удельных трудозатрат, массы ТС от удельных затрат. На каждом этапе значения критерия ранжируются в порядке возрастания и при значении R^2 меньше 0,55 экстремальные значения в квантах отсекаются, а после достижения R^2 больше 0,89 переходят к следующему этапу. Реализация выполняемого этапа позволяет решить последующий этап. В качестве критерия 1 принята удельная материалоемкость, отнесенная к выработке 1 м ширины захвата, критерия 2 – удельные трудозатраты, отнесенные к выработке 1 м ширины захвата, критерия 3 – удельные затраты на единицу производительности. При завершении цикла настройки переходят к циклу варьирования переменных с определением прогнозных параметров новых почвосберегающих ведущих машин.

Имитационная модель, сформирована для выборки технических средств:

- содержащих прицепной агрегат к трактору и установленных на многосекционной раме модулей из существующих орудий, способных выполнять поэтапную и полосовую обработку горизонтов *A* надсолонцовой гумусово-элювиальной слабодерновой почвы, *B* иллювиально-гумусового солонца, *C* переходного к материнской засоленной породе, горизонта скопления солей — карбонатных, гипса (гнезда), легкорастворимых солей (прожилок) - квант 1;

- содержащих самоходный комбинированный агрегат для сплошной либо полосовой комплексной обработки горизонтов *A* надсолонцовой почвы, *B* солонцов, *C* засоленной почвообразующей породы – квант 2. Для этого разработан алгоритм решения задачи (табл.1).

Таблица 1 - Алгоритм математического моделирования для определения оптимальных параметров ведущих машин

Наименование показателя	Расчетная формула	Значение показателя ТС, V^*	Численные значения параметров ТС, из модулей, предлагаемых на рынке			
Эмпирическая зависимость массы ТС от Уд. затрат						
Масса ТС, М, кг	$M = f(Ce)$	$y_3 = K_{j.1}X^3 + K_{j.2}X^2 + K_{j.3}X + K_{j.4}$				
Удельные затраты на единицу производительности						
Ce , руб/м ³ (руб/га)	$Ce = Co / W$	$Ce.v$	$Ce.1$	$Ce.2$	$Ce.3$	$Ce.4$
Затраты, Co , руб/ч	$Co = (C_{ма-шe_p} / 100Mм-ч) + QeД + 3$, руб/ч	$Co.v$	$Co.1$	$Co.2$	$Co.3$	$Co.4$
Эмпирическая зависимость расхода топлива от Уд трудозатрат						

Наименование показателя	Расчетная формула	Значение показателя ТС, V*	Численные значения параметров ТС, из модулей, предлагаемых на рынке			
Qe, кг/чел.-ч/м ³ (кг/чел.-ч / га)	$Qe = \hat{f}(Tз)$	$Qe \hat{y}_2 = Kq_{.1}X^3 + Kq_{.2}X^2 + Kq_{.3}X + Kq_4$				
Qe - расход топлива, кг/ч Kx=0,85*0,75*1,03 =0,6566	$Qe = Ne q_0 10^{-3}$ $Ne = Kx * N_0$ $Kx = Kив * Kим * Kпр$	Qe.v	Qe.1	Qe.2	Qe.3	Qe.4
Удельные трудозатраты на единицу выработки						
Tз - чел.-ч/ м ³ (чел.-ч / га)	$Tз = 1 / (W/L)$, Критерий №2	Tз	Tз.1	Tз.2	Tз.3	Tз.4
Эмпирическая зависимость мощности от удельной материалоемкости						
N ₀ , кВт м/ м ³ (кВт м/га)	$N_0 = \hat{f}(Gm)$	$N_{0.d} \hat{y}_1 = KN_{.1}X^3 + KN_{.2}X^2 + KN_{.3}X + KN_4$				
N ₀ - номинальная мощность, кВт	(Перспективы, техническая документация)	N _{0.v}	N _{0.1}	N _{0.2}	N _{0.3}	N _{0.4}
Удельная материалоемкость на единицу выработки						
Gm -, т м/м ³ (т м/га)	$Gm = M/(W/L)$, Критерий №1	Gm.v	Gm.1	Gm. ₂	Gm.3	Gm. ₄
Марка технического средства	A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	
* - прогнозные показатели новых машин						

Расшифровка символов, приведенных в таблице 1:

- Удельная материалоемкость – Gm, ранжируются в порядке возрастания, N₀ - номинальная мощность двигателя, кВт; Удельные трудозатраты Tз, включают: количество операторов ТС, n – чел, n=1; M- массу ТС, кг; L – ширина захвата, м; где П– выработка ТС на метр ширины захвата, П = W/L; W– производительность ТС, м³/ч, (га/ч); Qe- расход топлива, кг/ч, где Ne -эффективная мощность двигателя, кВт [4], Ne = Kx*N₀ при Kx = Kив*Kим*Kпр, Kx – коэффициент потерь мощности на трение, буксование, использования мощности и загрузки двигателя, Kив – коэффициент использования двигателя по времени, Kив =0,65...0,85, Kим– коэффициент использования двигателя по мощности, учитывающий позиционную работу при загрузке технологического материала в рабочий орган, маневрирования с выглубленным из грунта рабочим органом, на временной остановке без глушения двигателя, Kим = 0,5...0,75, Kпр- коэффициент учитывающий использование мощности в период пуска и регулирования работы двигателя машины, Kпр = 1,03...1,28; q₀-удельный расход топлива, г/кВт.ч; Удельные затраты Се, руб/м³ (руб/га), где Со-затраты на машино-час, руб/ч; Смаш – стоимость ТС, руб; е_р-амортизация, 15-20%; З–зарплата машиниста, руб/ч; Д – стоимость топлива, руб/кг; M_{м.-ч}–годовая загрузка, равная 1100 ч. Поверочная масса

ТС для перебора значений при необходимости повтора цикла моделирования, M.d, кг.

Результаты и обсуждение. На основании анализа и обобщения опыта проведения коренного улучшения земель с солонцеватыми почвами предложены новые комплексы машин, позволяющие осуществлять технологические процессы, которые базируются на способах, разработанных в ходе исследований и защищённых патентом на изобретение и двумя заявками на патент изобретения [8, 9, 10, 13]. Актуальность повышения водообеспеченности сельскохозяйственных культур на богарных землях была учтена ФГБНУ ВНИИГиМ при разработке новых способов и технических средств для их осуществления. Новые способы комплексной мелиорации богарных земель с солонцовыми комплексами предусматривают обработку почвогрунтов при последовательном и одновременном выполнении технологических процессов новыми комбинированными агрегатами (орудиями) являющимися самоходными машинами, при этом одновременная обработка включает: механическую – с измельчением стеблей травянистых растений и почвенных агрегатов с сепарацией на фракции и сохранением поверхностных полос, предохраняющих от ветровой эрозии, объёмного подпочвенного рыхления, укладки водорегулирующих экранов и прослоек, снижающих капиллярный подъём влаги; химическую – с распределением мелиоранта и минеральных удобрений; биологическую – с внесением жидкого навоза, раствора с азотофиксирующими микроорганизмами в почву, подсева смесей семян [7].

Для сравнения отдельных многопроходных и комбинированных однопроходных технологий разработаны три варианта комплексов, учитывающих вид земель и параметры надсолонцовой почвы.

Для обработки богарных и поливных земель с надсолонцовым слоем почвы 0,02...0,1 м сформированы комплексы:

1. - КАОС-3,5-3П, включающий: - Культиватор скоростной, КПС-4 на базе Агротех-85ТК, мощностью 58,8 кВт; - Дискатор, БДМ-3х4П на базе Агротех-150ТГ, мощностью 118 кВт; - Машину внесения органических удобрений, РОУ-5 на базе Беларус-1221, мощностью 96 кВт; - Рыхлитель, РС-0,8 на базе К-9430, мощностью 315 кВт; - Сеялку, СЗ-3,6АТ на базе РТ-М160У, мощностью 118 кВт;

2. - АЛС-2,5-ПМ, включающий: - Полуприцеп-цистерну, ОЗТП-9626 на базе Беларус-1025, мощностью 77 кВт; - Агрегат луговой для солонцовых почв, АЛС-2,5 на базе К-702МБА, мощностью 172,96 кВт; - Машину штанговую для внесения пылевидных химмелиорантов, МШХ-9 на базе Беларус-1221, мощностью 96 кВт;

3. - КАОСП-3-0,5, включающий: - Машину для внесения твердых органических удобрений, МТТ-9 на базе Беларус-1221; мощностью 96 кВт; - Дискатор «БДМ-Агро», БДМ-3х4ПШК на базе Беларус-1523, мощностью 114 кВт; - Глубокорыхлитель, ГРН-3 на базе Агротех-90ТГ, мощностью 75 кВт; - Машина внесения мелиоранта, МВУ-5 на базе МТЗ-82.1, мощностью 60 кВт; - Сеялка, СЗС-2,8 на МТЗ-82.1, мощностью 60 кВт;

4. Однопроходный агрегат. Комбинированное модульное орудие комплексной обработки солонцовых почв, КМОСК-4-0,45 на базе трактора D85EX, мощностью 161,9 кВт;

5. Однопроходный агрегат. Луговой многофункциональный кочкорез, ЛКСК-3,5-0,75; на основе шасси ОТЗ-515 (типа SILVATEC 8266TH SLEIPNER), мощностью 205 кВт.

Для обработки богарных земель с надсолонцовым слоем почвы 0,05...0,18 м. сформированы комплексы:

6. - КОМС-4-0,65, включающий: - Рыхлитель-щелеватель, РЩЯ-5-384 на базе трактора D65EX, мощностью 121,4 кВт; - Оборудование для внутрпочвенного внесения жидких минеральных удобрений и мелиоранта, ОВЖ-2000 на базе трактора Беларус-1221, мощностью 96 кВт; - Дискатор «БДМ-Агро», БДМ-4х2ПШК на базе трактора Беларус-1523, мощностью 114 кВт; - Сеялку посева луговых трав и их смесей, СЛТ-3,6 на базе трактора РТ-М-160, мощностью 118 кВт;

7. - КОСК-4-0,4, включающий:- Агрегат комбинированный почвообрабатывающий, АКПН-6А на базе трактора К-702МБА, мощностью 172,96 кВт; - Машину штанговую для внесения минеральных удобрений и мелиоранта, МШВУ-18 на базе трактора Беларус-1523, мощностью 114 кВт; - Культиватор-глубокорыхлитель, КГР-5,7 на базе трактора К-702МБА, мощностью 172,96 кВт; - Машину для внесения твердых органических удобрений, МТТ-9 на базе трактора Беларус-1221, мощностью 96 кВт; - Сеялку-культиватор, СЗС-4,2 на базе РТ-М-160У, мощностью 118 кВт ;

8. - КАОС-6-0,35, включающий: - Почвообрабатывающий агрегат универсальный, ПАУК-6,0 на базе трактора Беларус-1523, мощностью 114 кВт; - Рыхлитель обработки солонцовых почв; РСН-2,9У на базе колесного трактора К-9430, мощностью 315 кВт; - Разбрасыватель органических удобрений; РОУ-5 на базе трактора Беларус-1221, мощностью 96 кВт; - Сеялку пневматическую, С-6ПМЗ на базе трактора Беларус-1221, мощностью 96 кВт;

9. КАОС-6-0,5, включающий: - Глубокорыхлитель, «КАМА-ТГР 50.14-700» на базе К-9500, мощностью 368 кВт; - Машину штанговую для внесения минеральных удобрений и мелиоранта, МШВУ-18 на базе трактора Беларус-1523, мощностью 114 кВт; - Борону дисковую тяжелую, БДТ-7,0 на базе К-702МБА, мощностью 172,96кВт; - Почвообрабатывающий посевной комплекс; КА-6 на базе К-703МА-12-04, мощностью 184 кВт;

10. Однопроходный агрегат. Комбинированное почвообрабатывающее орудие для лугов и пастбищ, КОСЛ-6-0,8 на основе шасси ОТЗ-520 (типа SILVATEC 878СН), мощностью 205 кВт;

11. Однопроходный агрегат. Комбинированный агрегат ярусной обработки засоленных земель с подсевом семян, КАСК-6,1-0,65 на основе шасси ОТЗ-515 (типа SILVATEC 8266ТН SLEIPNER), мощностью 205 кВт.

Для обработки богарных земель с надсолонцовым слоем почвы 0,09...0,25 м и более сформированы комплексы:

12. КАОС-5,8-0,35, включающий: - Рыхлитель обработки солонцовых почв, РС-1,5 на базе трактора Агромаш-150ТГ, мощностью 118 кВт; - Машину внесения мелиоранта и удобрений, МВУ-5 на базе трактора Агромаш-85ТК, мощностью 58,8 кВт; - Дискатор «БДМ-Агро», БДМ-3х4ПШК на базе трактора Беларус-1523, мощностью 114 кВт; - Почвообрабатывающий посевной комплекс, КА-6 на базе трактора К-703МА-12-04, мощностью 184 кВт;

13. КАСК-8-0,5, включающий: - Глубокорыхлитель; РГ-3-0,5 на базе трактора Агромаш-90ТГ, мощностью 75 кВт; - Дискатор «БДМ-Агро», БДМ-3х4ПШК на базе трактора Беларус-1523, мощностью. 114 кВт; - Машину штанговую для внесения минеральных удобрений и мелиоранта, МШВУ-18 на базе трактора Беларус-1523, мощностью. 114 кВт; - Почвообрабатывающий посевной комплекс; КА-8 на базе трактора Беларус-3022ДЦ, мощностью 223 кВт;

14. Однопроходный агрегат. Комбинированный агрегат биомелиорации деградированных почв с рассолением и подсевом семян, КАБДП-5,4 - 0,75 на основе шасси «Четра Т-15.01 (ОАО Промтрактор, Чебоксары), мощностью 180 кВт;

15. Однопроходный агрегат. Машина для комплексной обработки солонцовых почв, МКСП-6-0,65 на основе шасси «Четра Т-15.01 (ОАО Промтрактор, Чебоксары), мощностью 180 кВт.

В ходе исследований сформированных комплексов машин для мелиорации земель с солонцовыми почвами при сравнении отдельных многопроходных и комбинированных однопроходных технологий учитывалась область применения и величина комплексности солонцов. Стоимость мелиоранта для расчета принята по отпускной в 2017 г. цене фосфогипса из тарифов ООО «Титановые Инвестиции», Республика Крым, г. Армянск, без учета затрат на транспортировку, стоимость доставки - 40 руб. т/км (Ляшевский, 2017). Отпускная цена фосфогипса 250 руб/т. При норме от 6 до 12 т/га затраты 1500 -3000 руб/га, для рациональной нормы 10т/га - 2500 руб/га. Определены технико-эксплуатационные показатели работы на трех фонах многопроходных комплексов машин и однопроходных комбинированных агрегатов с адресным внесением мелиоранта (табл. 2, 3, 4).

Таблица 2 - Комплекс машин для технологии обработки богарных и поливных земель с надсолонцовым слоем почвы 0,02...0,1 м

Состав комплексов машин	Способ работ на сельскохозяйственном угодье				
	Раздельный многопроходный	Комбинированный однопроходный	Раздельный многопроходный	Комбинированный однопроходный	Раздельный многопроходный
Марка агрегата. Марка комплекса. Суммарные затраты мощности, кВт	КАОС-3,5-3П; 705,8 кВт	КМОСК-4-0,45; 161,9 кВт	КАОСП-3-0,5; 405кВт	ЛКСК-3,5-0,75; 205 кВт	АЛС-2,5-ПМ; 147 кВт
Затраты на машино-час, руб/ч	5893,52	3386,19	3305,78	3447,07	3668,85
Удельные затраты на производство работ, руб/га	1403,22	705,46	2899,81	1515,19	1544,78
Затраты на мелиорант, руб/га	2500	500	2500	375	2500
Суммарные затраты, руб/га	3903,22	1205,46	5399,81	1890,19	4044,78

Таблица 3 - Комплекс машин для технологии обработки богарных земель с надсолонцовым слоем почвы 0,05...0,18 м

Состав комплексов машин	Способ работ на сельскохозяйственном угодье				
	Раздельный многопроходный	Комбинированный однопроходный	Раздельный многопроходный	Комбинированный однопроходный	Раздельный многопроходный
Марка агрегата. комплекса. Суммарные затраты мощности, кВт	КОМС-4-0,65; 449,4 кВт	КАСК-6,1-0,65; 205 кВт	КАОС-6-0,35; 621 кВт	КОСЛ-6-0,8; 205 кВт	КОСК-4-0,4; 673,2 кВт
Затраты на машиночас, руб/ч	10512,75	3464,47	3727,03	3545,42	3831,62
Удельные затраты на производство работ, руб/га	2061,32	873,76	1620,45	909,08	1423,81
Затраты на мелиорант, руб/га	2500	625	2500	625	2500
Суммарные затраты, руб/га	4561,32	1498,76	4120,45	1534,08	3973,70

Таблица 4 - Комплекс машин для технологии обработки богарных земель с надсолонцовым слоем почвы 0,09...0,25 м и более

Состав комплексов машин	Способ работ на сельскохозяйственном угодье			
	Раздельный многопроходный	Комбинированный однопроходный	Раздельный многопроходный	Комбинированный однопроходный
Марка агрегата. комплекса. Затраты мощности, кВт	КАОС-5,8-0,35; 205 кВт	КАБДП-5,4-0,75; 180 кВт	КАСК-8-0,5 180 кВт	МКСП-6-0,65; 180 кВт
Затраты на машиночас, руб/ч	3576,05	4044,13	4404,34	4009,44
Удельные затраты на производство работ, руб/га	1833,87	674,69	1129,32	715,33
Затраты на мелиорант, руб/га	2500	875	2500	625
Суммарные затраты, руб/га	4333,87	1549,69	3629,32	1340,33

Средние затраты многопроходной технологии с надсолонцовым слоем почвы 0,02...0,1 м составляют 4449,27 руб/га, однопроходной технологии составляют 1547,834 руб/га, средний экономический эффект от адресного внесения мелиоранта составляет 2901,44 руб/га.

Средние затраты многопроходной технологии с надсолонцовым слоем почвы 0,05...0,18 м составляют 4218,49 руб/га, однопроходной технологии составляют 1516,42 руб/га, средний экономический эффект от адресного внесения мелиоранта составляет 2702,07 руб/га

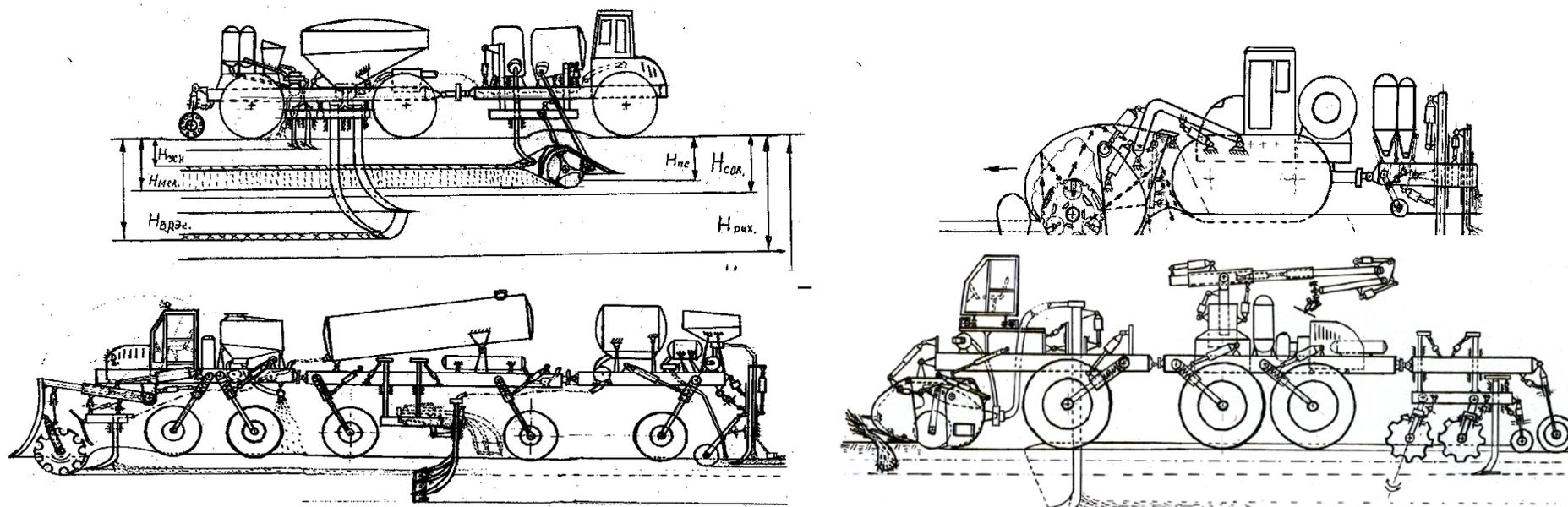
Средние затраты многопроходной технологии с надсолонцовым слоем почвы 0,09...0,25 м и более составляют 3981,59 руб/га, однопроходной технологии составляют 1445,01 руб/га, средний экономический эффект от адресного внесения мелиоранта составляет 2536,58 руб/га

Средний эффект однопроходной технологии по трем фонам составляет 2713,36 руб/га, что подтверждает возможность применения комбинированных агрегатов с многосекционными рамами и навигационным оборудованием, связанным через персональный компьютер с автоматической системой управления включения и выключения рабочих органов по программе в ГИС.

Новые технологии могут быть осуществлены при комплексной обработке горизонтов почвогрунтов с разной консистенцией и величиной концентрации химических веществ и токсических солей при внедрении ведущих самоходных машин (рисунок 1), имеющих новые технические решения [11,12] и уточненную область рекомендуемого применения (табл. 5).

Заключение. Проведенные исследования показали, что совершенствование технологий улучшения солонцовых почв на землях мелиоративных систем, а также деградированных богарных сельхозугодий наряду с дополнением их ранее не применявшимися операциями укладки водорегулирующих экранов, возможно при полосовой подпокровной обработке и создании самоходных комбинированных агрегатов с рабочими органами, новизна которых подтверждена патентами.

В усовершенствованных технологиях предусмотрена модернизация технических средств и использование их с современными энергетическими средствами, имеющимися на рынке.



а) – Комбинированный агрегат биомелиорации деградированных почв с рассолоением и подсевом семян, Патент РФ на изобретение №2619449;

б)- Машина для комплексной обработки солонцовых почв, Патент РФ на пол. Модель №156195;

в) – Комбинированный агрегат ярусной обработки засоленных земель с подсевом семян, Патент РФ на изобретение №2618097;

г) – Кочкорез, Патент РФ на изобретение №2567516.

Рисунок 1 - Схемы предлагаемых новых ведущих машин, обрабатывающих почву с солонцовыми комплексами

Таблица 5 – Техничко-экономические показатели процессов и значения прогнозных параметров новых ведущих машин, обрабатывающих почву с солонцовыми комплексами

Категория ТС	Показатели процессов и параметры агрегатов для их осуществления					
Вид объекта	Обработка богарных земель с надсолонцовым слоем почвы 0,05...0,18 м		Обработка богарных земель с надсолонцовым слоем почвы 0,09...0,25 м и более м		Обработка богарных и поливных земель с надсолонцовым слоем почвы 0,02...0,1 м	
Наименование ТС	Комбинированное почвообрабатывающее орудие для лугов и пастбищ	Комбинированный агрегат ярусной обработки засоленных земель с подсевом семян	Комбинированный агрегат для биомелиорации почв с рассолением и подсевом семян	Машина для комплексной обработки солонцовых почв	Комбинированное модульное орудие комплексной обработки солонцовых почв	Луговой многофункциональный кочкорез
Предварительные марки ТС, номер патента	КОСЛ-6-0,8, №2553638	КАСК-6,1-0,65, №2618097	КАБДП-5,4-0,75, №2619449	МКСП-6-0,65, П.м. №156195	КМОСК-4-0,45, №1762772	ЛКСК-3,5-0,75, №2567516
Затраты на машиночас, Со, руб\ч	3545,42	3464,47	4044,13	4009,44	3386,19	3447,07
Уд.затраты на производство, Се, руб/га	909,08	873,76	674,69	715,33	705,46	1515,19
Предварительная стоимость машины, Смаш, тыс. руб	10178,00	9732,80	14422,80	14232,00	11492,3	9637,4
Производительность, W, га/ч	3,9	4,0	5,994	5,605	4,8	2,3
Мощность, No, кВт	205,00	205,00	180,00	180,00	161,90	205,00
Область применения с рекомендуемыми ТС	^{+,+++} Лугостепные каштановые, комплексы солонца 10...25 %	^{+,+++} Луговые; черноземные, каштановые, комплексы солонца 5...25 %	^{+,+,+++} Луговые бурые; каштановые, комплексы солонца 15...25 %	^{+,+,+++} Сухостепные черноземные, комплексы солонца 10...20 %	^{+,++} Лугостепные, луговые; черно-земновидные, комплексы солонца 10...20%	^{+,++} Сухостепные, луговые; каштановые, бу-рые, комплексы солонца до 15 %

Примечание - тип солонцов: + автоморфные, ++ полугидроморфные, +++ гидроморфные

Список использованных источников

1. Гордеев, А.В. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России. /А.В. Гордеев, Г.А. Романенко//.- М.: Росинформагротех, 2008 г.- 67 с.
2. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2016 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. -196 с.
3. Отчет о реализации I этапа (2014-2016 годы) Федеральной целевой программы "Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы." – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. - 80 с
4. Казакова, Л. А. Комплексная мелиорация орошаемых солонцовых и засоленных почв Нижнего Поволжья, /Л.А. Казакова//Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора сельскохозяйственных наук,- Волгоград, ФГОУ ВПО ВГСХА, 2007,-48 с.
5. Методические рекомендации по разработке прогнозных нормативных показателей для планирования развития сельского хозяйства на долгосрочную перспективу /А.Ф. Поцкалев, В.И. Петранев, И.Д. Олисаева, Т.Н. Макарова//.- М.: Издательство НИИПиН, -1981,- 52 с.
6. Суриков, В.В. Строительные машины для механизации гидромелиоративных работ/ В.В. Суриков, Б.А. Васильев, В.Б. Гантман; под общ. ред. В.В. Сурикова//.- М.: Агропромиздат, 1985. -351 с.
7. . Пунинский, В.С. Совершенствование механизации улучшения лугов и пастбищ с солонцовыми комплексами на богарных землях/ В.С. Пунинский// «Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства. ФГБНУ ВИМ, Материалы международной научно-технической конференции, (15-16 сентября 2015г., Москва) Часть 1. - М: ФГБНУ ВИМ, 2015 г.- с 156...163.
8. Заявка 2016131887 Российская Федерация, МКП⁶ А 01В 79/00. Способ комбинированной обработки солонцовых комплексов богарных земель/ Пунинский В.С., Кизяев Б.М., Мартынова Н.Б.; заявитель ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»; заявл. 03.08.16; опубл. 10.12.16, Бюл. №34.-2 с.
9. Патент изобретения №2628500 Российская Федерация, МКП⁶ А 01В 79/00. Способ биомелиорации деградированных богарных земель/ Пунинский В.С., Кизяев Б.М.//; Заявка 2016131887, заявитель ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»; заявл. 03.08.16; опубл. 27.11.16, Бюл. №33.-2с.
10. Патент изобретения №2589224 Российская Федерация, МКП⁶ А 01В 79/02, А 01В 13/14, С 09К 101/00. Способ биомелиорации богарных земель с подпочвенным слоем солонца/ Пунинский В.С.//; заявитель и патентообладатель Пунинский В.С - №2015118608/13, заявл. 19.05.15; опубл. 10.07.16, Бюл. №19.-11с.
11. Патент изобретения №2618097 Российская Федерация, МПК(6) А 01 В 45/00, Комбинированный агрегат ярусной обработки засоленных земель с подсевом семян/ Пунинский В.С.// заявитель, патентообладатель Пунинский В.С., - №2016108013/13; заяв.09.03.16; опублик. 02.05.17, бюл. №13. -15 с
12. Патент изобретения №2619449 Российская Федерация, МПК(6) А 01 В 45/00, Комбинированный агрегат биомелиорации деградированных почв с рассолением и подсевом семян/ Пунинский В.С.// заявитель, патентообладатель Пунинский В.С., - №2016114745/13; заяв.18.04.16; опублик. 16.05.17, бюл. №14. -19 с
13. Заявка 2017116990 Российская Федерация, МКП⁶ А 01В 79/00. Способ биомелиорации бурых и каштановых почв с солонцами на деградированных богарных сухостепных землях/ Пунинский В.С., Шевченко В.А.//; заявитель ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»; заявл. 16.05.17; опубл. 05.10.17, Бюл. №28.-2с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАНАЛООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНОЙ СЕТИ

Пунинский В.С.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» г. Москва, Россия

Целью исследований является обоснование разработки нового комплекса машин для ухода, ремонта мелиоративной сети, формирования и мониторинга рынка технических средств, технологий и сервисных услуг, путей ресурсосбережения для новых способов очистки каналов от заиления и закустаривания на основе самоходных комбинированных агрегатов. Показано, что существующие технологии и методы ухода, ремонта открытой мелиоративной сети базируются на работах, выполняемых отдельно, с большим временным периодом между блоками операций. Приведены параметры перспективных технических средств для дноуглубления каналов с расходом до 10 м³/с и отдельно свыше 10 м³/с. В результате исследований получены корреляционные зависимости прогнозных прямых затрат от глубины открытого канала при непрерывной очистке слоя заиления до 0,5 м комбинированными агрегатами, циклической очистки каналоочистителями слоя заиления от 0,4 м до 1,0 м и ремонте экскаваторами периметра канала.

Ключевые слова: ТЕХНИКА, МЕЛИОРАТИВНАЯ СЕТЬ, СЛОЙ ЗАИЛЕНИЯ, КУСТАРНИКОВАЯ ПОРОСЛЬ, СТЕБЛИ РАСТЕНИЙ, ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ, УТИЛИЗАЦИЯ ПРОДУКТОВ ОЧИСТКИ.

В Российской Федерации в 2017 г. на территориях земель сельскохозяйственного назначения, составляющих 402,6 млн. га, из них 43,6 млн. га находятся в фонде перераспределения и не используются для сельскохозяйственного производства. При этом мелиорированные земли в 2017 г составляли 9444,25 тыс. га, из них 3607,7 тыс. требуют реконструкции (Отчет о реализации I этапа (2014-2016 годы) Федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы», 2017), а лимитирующим фактором эффективного сельскохозяйственного производства на этих землях являются: - негативные процессы изменения работоспособности каналов, снижающаяся из-за заиления их дна с зарастанием откосов и берм; - высокое стояние уровня грунтовых вод; - организационно-правовые решения, приводящие к выводу угодий из хозяйственного оборота [1, 2, 3, 4]. Протяженность мелиоративной сети России к 2006 году составила 2368,520 тыс. км, в том числе осушительной сети 2053,41 тыс. км, оросительной сети 315,11 тыс. км. В 2017 году осталось в наличии каналов протяженностью 1115,005 тыс. км у всех собственников, в том числе 49,864 тысяч км каналов федеральной собственности в веде-

нии Минсельхоза России. Количество гидротехнических сооружений на мелиоративных системах России (ГТС) к 2006 году составило 1912,28 тыс. штук, в том числе осушительной сети 1099,29 тыс. штук, оросительной сети 815,38 тыс. штук. В 2017 году осталось в наличии ГТС 732,401 тыс. штук у всех собственников, в том числе около 40 тысяч сооружений федеральной собственности в ведении Минсельхоза России [4].

Резкое за 10 лет сокращение мелиоративной сети: каналов до 47,08% от протяженности в 2006 г, уменьшение количества гидротехнических сооружений до 38,3% от наличия в 2006 г в основном обуславливается факторами организационно-правовых решений, требует необходимого финансирования для ухода, ремонта, дноуглубления каналов и реконструкции сооружений, дренажа, повышения продуктивности земель мелиоративных систем, а так же закупок мелиоративных машин региональными управлениями мелиорации Департамента мелиорации Минсельхоза России [5]. Состояние мелиоративной сети тесно взаимосвязано с деградацией сельхозугодий с этапами: луговой, кустарниковый и лесной (рис. 1).



Рисунок 1 - Общий вид заросшего мелиоративного канала

Наличие в руслах растительности усложняет технологию работ и требует проведения дополнительных исследований по обоснованию целесообразности восстановления мелиоративной сети или её реконструкции, определения прогнозных параметров новых ремонтно-эксплуатационных машин и комбинированных агрегатов.

Восстановление эффективного функционирования мелиоративной сети при одновременном повышении плодородия малопродуктивных угодий мелиоративных систем может позволить значительно сократить прирост деградированных земель и подтверждает актуальность совершенствования приёмов очистки каналов, разработки новых ресурсосберегающих способов мелиорации на базе энергонасыщенных комбинированных агрегатов и многофункциональных специальных мелиоративных машин [6].

Цель исследований — обоснование разработки комплекса машин для ухода, ремонта мелиоративной сети, формирования и мониторинга рынка технических средств, технологий и сервисных услуг, путей ресурсосбережения для новых способов очистки каналов от заиления и закустаривания на основе самоходных комбинированных агрегатов.

Материалы и методы. Изучены базовые типизированные технологии и технические средства для выполнения мелиоративных работ. Проведен анализ и оценка ранее накопленных данных, фундаментальных исследований, существующих фондовых материалов, синтеза имеющегося опыта разработки технологических процессов для восстановления мелиоративных систем [6, 8].

Исследования проводились по общепринятым методикам с использованием научно-практических методов определения прогнозных технико-экономических показателей ведущих машин (Бусленко, 1978; Методические рекомендации по разработке прогнозных нормативных показателей для планирования развития сельского хозяйства на долгосрочную перспективу, 1981; Штепа, 1983; Суриков, 1985; Черненький, 1990; Рекс, 1995). Для осуществления разработки новых технологий восстановления водопроводящих каналов на деградированных сельхозугодиях применяется целевая функция минимизации затрат (руб/га):

$$Y = f(C_e) \longrightarrow \min,$$

где: C_e - удельные затраты, руб/га.

Определение удельных затрат базируется на использовании прогнозных основных параметрах новых ведущих машин. Выбор основных параметров ведущих машин предусмотрен методом имитационного моделирования. Для имитационного моделирования сформирована генеральная выборка машин и разработан алгоритм решения задачи. В качестве целевой установки необходимо определить V - прогнозные параметры новых ведущих машин. Для исследований применен выборочный метод по объектам представителям, т.е. по ранее разработанным машинам и присутствующим на рынке. Предусмотрен цикл предварительной настройки математических описаний корреляционных зависимостей: мощности от удельной материалоемкости, расхода топлива от удельных трудозатрат, массы ТС от удельных затрат. На каждом этапе значения критерия ранжируются в порядке возрастания и при значении R^2 меньше 0,55 экстремальные значения в квантах отсекаются, а после достижения R^2 больше 0,89 переходят к следующему этапу. Реализация выполняемого этапа позволяет решить последующий этап. В качестве критерия 1 принята удельная материалоемкость, отнесенная к выработке 1м выемки из канала, критерия 2 – удельные трудозатраты, отнесенные к выработке 1м выемки из канала, критерия 3 – удельные затраты на единицу производительности. При завершении цикла настройки переходят к циклу варьирования переменных с определением прогнозных параметров новых ведущих машин, используя полученные корреляционные зависимости.

Результаты и обсуждение. Анализ технологий и методов ухода и ремонта открытой мелиоративной сети показал, что работы выполняются отдельно с большим временным периодом между блоками операций.

Разработанная имитационная модель (табл. 1). Сформирована она следующим образом: осуществлена выборка средств механизации для очистки и ремонта каналов мелиоративной сети с рабочими органами непрерывного (квант 1) и циклического действия (квант 2). Выборки машин составлены для мелиоративных каналов с расходами до 10 м³/с и каналов - свыше 10 м³/с. В процессе исследований на каждом этапе значения критерия ранжируются в порядке возрастания и при необходимости экстремальные значения в квантах отсекаются.

Таблица 1 - Алгоритм математического моделирования для определения прогнозных параметров ведущих машин

Наименование показателя	Расчетная формула	Численные значения параметров ТС, предлагаемых на рынке			
Эмпирическая зависимость массы ТС от Уд. затрат					
Масса ТС, М, кг	$\hat{M} = f(Ce)$	$\hat{y}_3 = K_{j.1}X^3 + K_{j.2}X^2 + K_{j.3}X + K_{j.4}$			
Удельные затраты на единицу производительности					
Се, руб/м ³ (руб/га)	$Se = Co / W$	Се.1	Се.2	Се.3	Се.4
Затраты, Со, руб/ч	$Co = (C_{маш} e_p / 100 M_{м-ч}) + QeД+3$	Со.1	Со.2	Со.3	Со.4
Эмпирическая зависимость расхода топлива от Уд. трудозатрат на 1 м выемки					
Qe, кг/чел.-ч/м ³ (кг/чел.-ч / га)	$Qe = \hat{f}(Tз)$	$\hat{y}_2 = K_{q.1}X^3 + K_{q.2}X^2 + K_{q.3}X + K_{q.4}$			
Qe - расход топлива, кг/ч	$Qe = Ne q_0 10^{-3}$	Qe.1	Qe.2	Qe.3	Qe.4
Удельные трудозатраты на 1 м выемки (длины захвата)					
Tз -, чел.-ч/ м ³ (чел.-ч / га)	$Tз = 1 / (W/L)$, Критерий №2	Tз.1	Tз.2	Tз.3	Tз.4
Эмпирическая зависимость мощности от удельной материалоемкости на 1 м выемки					
N ₀ , кВт м / м ³ (кВт м/га)	$N_0 = \hat{f}(Gm)$	$\hat{y}_1 = K_{N.1}X^3 + K_{N.2}X^2 + K_{N.3}X + K_{N.4}$			
N ₀ номинальная мощность, кВт	(Перспективы, техническая документация)	N _{0.1}	N _{0.2}	N _{0.3}	N _{0.4}
Удельная материалоемкость на 1 м выемки (длины захвата)					
Gm -, т м/м ³ (т м/га)	$Gm = M/(W/L)$, Критерий №1	Gm.1	Gm.2	Gm.3	Gm.4
Марка технического средства		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄

Обозначения входящих параметров (табл. 1): Gm - удельная материалоемкость ранжируется в порядке возрастания; N₀ - номинальная мощность двигателя, кВт; Tз - удельные трудозатраты; M - масса ТС, кг; L – длина захвата, м; W – производительность ТС, м³/ч; П – выработка ТС, П = W/L; Qe - расход топлива, кг/ч, Ne - эффективная мощность двигателя, кВт; Ne = Kx*N₀; Kx = Kив*Kим*Kпр; Kx – коэффициент потерь мощности на трение, буксование, использования мощности и загрузки двигателя; Kив – коэффициент использования двигателя по времени; Kив = 0,65...0,85, Kим – коэффициент использования двигателя по мощности, учитывающий позиционную работу при загрузке технологического материала, маневрирование и временные остановки без глушения

двигателя; $K_{им} = 0,5...0,75$; $K_{пр}$ - коэффициент учитывающий использование мощности двигателя в период пуска и регулирования работы машины; $K_{пр} = 1,03...1,28$; q_0 - удельный расход топлива, г/кВт; C_e - удельные затраты руб/м³ (руб/га); C_0 - затраты на машино-час, руб/ч, $C_{маш}$ - стоимость ТС, руб, e_p - амортизационные отчисления, 15-20%; Z - зарплата машиниста, руб/ч; D - стоимость топлива, руб/кг; $M_{м.-ч}$ - годовая загрузка; M - поверочная масса ТС для перебора значений при необходимости повтора цикла моделирования, кг.

Для разработки комплекса машин для очистки открытых водопроводящих каналов при расходе до 10 м³/с и ширине по дну от 0,4 до 2,0 м сформированы выборки, таблица 2.

Таблица 2 - Выборки для определения прогнозных параметров новых машин

Категория ТС (Кванты ТС)		Каналоочистители (Непрерывного действия)			Экскаваторы (Циклического действия)		
а) - выборка для очистки каналов глубиной 2,0 м, шириной по дну 0,4 м							
Марки ТС		*КВМ -4,6	MP-19	KM-82	EW145 В	ММР- 0,1	ЭО- 2621ДТ
Номинальная мощность, кВт	N_0	33,1	96	96	110	57,4	66,1
Масса машины, т	M	3,100	6,000	5,700	13,100	6,120	6,050
Производительность, м ³ /ч	W	20	25	24	72	24	29
б)-выборка для очистки каналов глубиной 3,5 м, шириной по дну от 0,6 до 1,5м							
Марки ТС		ОКН- 0,5	*XS- 8266-S	MP-16	PP-303	ЕК-14	ЭО- 4112А- 1
Номинальная мощность, кВт	N_0	96	118	215	66	123	66
Масса машины, т	M	4,72	22,4	16,73	10,4	14,0	24,5
Производительность, м ³ /ч	W	24	45	35	25	15	20
в)-выборка для очистки и ремонта каналов глубиной до 2,5 м, шириной по дну от 0,4 до 2,0 м							
Марки ТС		MP-15	*KM- 2331	KM2,6Ф О	ЭО- 4121Б	ЕС220 D	ЭО- 3326
Номинальная мощность, кВт	N_0	44	129	73	96	123	58
Масса машины, т	M	12,500	9,5	14,560	23,5	23,990	13,000
Производительность, м ³ /ч	W	34	50	70	78	96	48

* - прогнозные показатели новых машин

В ходе моделирования на основе корреляционных зависимостей при расходе до 10 м³/с получены эмпирической зависимости показателей новых ведущих машин, параметров существующих технических средств. По полученным зависимостям на основе модели произведена увязка технических показателей ведущих машин и проектных параметров объекта исследований с получением прогнозных показателей мощности двигателя, расхода топлива, стоимости машино-часа, удельных затрат на единицу выработки для совершенствуемой технологии очистки канала.

Анализ модели позволил обосновать рациональную вместимость ковша одноковшового экскаватора и оптимальную мощность нового каналоочистителя. Установленные оптимальные параметры позволили рассчитать производительности ведущих машин и рассчитать технико-экономические показатели выполняемых операций технологического процесса и выбрать перспективные машины для выполнения работ по восстановлению открытых каналов.

Для каналов при расходе более 10 м³/с и ширине дна от 0,8 до 10 м сформированы выборки, таблица 3.

Таблица 3- Выборки для определения прогнозных параметров ведущих машин

Категория ТС (Кванты ТС)		Технические средства для восстановления функционирования каналов с расходом более 10 м ³ /с, где <input type="checkbox"/> Непрерывного действия и <input type="checkbox"/> Циклического действия					
а) - выборка для очистки каналов глубиной 2,0 м, шириной по дну от 0,8 до 1,5 м							
Марки ТС		PP220W Кировский тракторный завод РФ	XS-8266-S Онежский Тракторный завод РФ	ET-25 ОАО «ТВЭКС» РФ	ЭО-4225А-07 ОАО «Ковровец» РФ	ЭО-4112А-1 ООО «ДонЭкс» РФ	EW145B Компания VOLVO Швеция (г Калуга РФ)
Номинальная мощность, кВт	N ₀	90,2	129	132	125	66	110
Масса машины, т	M	16,3	22,4	27,0	25,8	24,5	13,1
Производительность, м ³ /ч	W	64,8	80,0	79,0	88,0	90,0	62,0
б)-выборка для очистки каналов глубиной 7,0 м, шириной по дну от 1,5 до 10,0 м							
Марки ТС		ZD120 НИТАСНИ (Компания Техстройкон тракт, РФ)	AM-250 Амффи-Мастер» (Граффт, РФ)	ZD240 НИТАСНИ I (Компания Техстройкон тракт, РФ)	Уралец (Гидромаш МК, г Миасс Челябинской обл РФ)	M3-11 ООО «Сапропель» РФ	AM-140 Амффи-Мастер» (Граффт, РФ)
Номинальная мощность, кВт	N ₀	66	122	132	243	154	66
Масса машины, т	M	16,500	34,500	38,000	9,000	40,000	20,500
Производительность, м ³ /ч	W	48,8	96,4	72,9	70,0	65,0	50,0
в)-выборка для очистки каналов глубиной до 5,0 м, шириной по дну от 0,4 до 7,0 м							
Марки ТС		<input type="checkbox"/> ZX70 НИТАСНИ (Компания Техстройкон тракт, РФ)	<input type="checkbox"/> EC220DL R Компания VOLVO, Швеция (г Калуга РФ)	<input type="checkbox"/> ДА-Г-1,5М (г.Буденновск Ростовская обл. РФ)	<input type="checkbox"/> ЗРС-М ООО «Сапропель» РФ	<input type="checkbox"/> AM-80 Амффи-Мастер» (Граффт, РФ)	<input type="checkbox"/> Нижегородец-1М ООО «Сапропель» РФ
Номинальная мощность, кВт	N ₀	46	123	205	75	69	55
Масса машины, т	M	19,200	23,990	15,000	7,500	19,700	9,000
Производительность, м ³ /ч	W	62,9	92,0	80,0	50,0	600,0	40,0

На основе корреляционных зависимостей при расходе более 10 м³/с получены эмпирические зависимости показателей ведущих машин, параметров существующих технических средств и их технико-экономические показатели при производстве работ по ремонту и восстановлению мелиоративных каналов.

Для выполнения работ по восстановлению осушительных каналов рекомендуется самоходный внутриканальный каналочиститель с низким расположением центра тяжести, предназначенный для очистки каналов глубиной до 2 м, с измельчением корней и пней на дне (проектная марка КВМ-4,6). При низком удельном давлении на откосы 0,009 МПа (0,1 кгс/см²) каналочиститель имеет манипулятор, ротор-метатель с измельчителем корней и пней, масса машины 3,100 т, номинальная мощность 33,1 кВт, удельные затраты 29,47 руб./м³. Для выноса измельченной массы и наносов из канала машина снабжена эжектором с трубопроводом и обеспечивает возможность погрузки материалов в транспортные средства для последующей утилизации.

Также рекомендуется новый многоцелевой каналочиститель на базе колесного трактора класса 30 кН, предназначенный для очистки и ремонта каналов глубиной до 2,5 м с окашиванием периметра, планировкой откосов, загрузкой и транспортировкой растительно-грунтовой массы для последующей утилизации (проектная марка КМ-2331). Масса машины 9,5 т, номинальная мощность 129 кВт, удельные затраты 26,03 руб./м³. Каналочиститель снабжен сцепным устройством для присоединения двухосного полуприцепа, платформой с поворотным манипулятором, телескопической стрелой и рукоятью, 6 сменных рабочих органов, в том числе широкий ковш с заслонкой, позволяющий засыпать промоины и уплотнять отсыпанный грунт на откосах. Машина выполняет дноуглубление и окашивание периметра канала, планировку откосов, загрузку и транспортировку растительно-грунтовой массы к месту утилизации.

Рекомендуется каналочиститель многоцелевой на колесном ходу класса 195 кН, предназначенный для очистки каналов глубиной до 3,0 м, углубления дна, планировки откосов (проектная марка XS-8266S), выполнен на базе колесного трактора ОТЗ-515со сдвоенными колесами. Машина смонтирована на сочлененной раме, имеет массу 22,400 т, номинальная мощность 118...205 кВт, удельные затраты 36,64 руб./м³. Каналочиститель содержит платформу поворотного манипулятора с телескопической стрелой, четыре резинометаллические армированные гусеницы, оборудование для дноуглубления, срезания кустарника на откосах и дне каналов и 15 сменных рабочих органов, в том числе для подготовки откоса и посева семян.

Для оросительных каналов с шириной по дну: до 1,5 м рекомендуются однокоровый экскаватор ЭО-4112А-1, с удельным давлением 0,060 МПа, массой 24,5 т, производительностью 90 м³/ч и удельными затратами на единицу производительности 9,61 руб./м³. При длине захвата 15,3 м, поставляется с рабочим оборудованием драглайн с вместимостью ковша 1,0 м³ ООО «ДонЭкс» РФ.

Для оросительных каналов с шириной по дну от 3,5 до 7,0 м рекомендуется мелиоративный земснаряд «Нижегородец- 1М» мощностью двигателя 55 и 250

кВт, массой 14,0 т, с производительностью 80 м³/ч, удельными затратами на единицу производительности 26,38 руб/м³, поставляемый ОАО «Сапрпель» РФ.

При ширине дна оросительных каналов от 5,0 до 10,0 м рекомендуется экскаватор-амфибия АМ140 ООО «ГраффТ» РФ с удельными затратами на единицу производительности 50,04 руб/м³. Экскаватор-амфибия АМ-140 имеет глубину копания до 7,50 м, массу 20,5 т, высоту понтона 1,61 м, вместимость ковша 0,4 м³, ширину траков 1,45 м. Может оборудоваться экскаваторами массой 12,0...14,0 т с телескопической рукоятью, землесосом PD3000. Боковые гидравлически выдвигаемые понтоны повышают маневренность машины. Производительность землесоса 600...800 м³/ч с возможностью подачи смеси по пульпопроводу на расстояние до 1,5...2,0 км;

Для очистки оросительных каналов шириной по дну более 10 м рекомендуется поставляемый ООО «Техстройконтракт» экскаватор ZX70 с массой 7,03 т, имеющий удлиненную стрелу, вместимость ковша 0,28 м³, мощность двигателя 40,5 кВт, с удельными затратами на единицу производительности 27,85 руб./м³; а так же экскаватор-амфибия ZD120 на понтонах с роликовой цепью со стальными полыми башмаками, повышающими плавучесть экскаватора и с удельными затратами на единицу производительности 29,48 руб./м³. Масса экскаватора ZD120 составляет 16,5 т., мощность двигателя 66 кВт, давление на грунт 0,0127 МПа. Максимальный радиус копания 8,27 м, вместимость ковша 0,52 м³, скорость хода 2,3...3,3 км/ч.

В результате получены зависимости прогнозных прямых затрат от глубины открытого канала (рис. 2), которые выражаются следующими полиномами:

- при непрерывной очистке $Y = 0,7118x^2 - 2,8865x + 6,005$, $R^2 = 0,9941$;
- при циклическом ремонте $Y = 2,1509x^2 - 13,517x + 22,601$, $R^2 = 0,9475$;
- при циклической очистке $Y = - 0,0174x^3 + 1,6901x^2 - 7,7293x + 14,236$, $R^2 = 0,9752$, где Y – прямые затраты, тыс.руб; x – глубина канала, м.

Выводы

1. Достоинством новых каналоочистительных машин является возможность разработки, подачи растительно-грунтовой массы со дна канала в контейнер, либо в бункер рядом идущего транспортного средства, что позволяет предотвращать засорение откосов каналов и возврат ила на дно канала.

2. Прогнозные показатели комбинированных самоходных агрегатов подтверждают возможность комплексной мелиорации водопроводящей сети с утилизацией продуктов очистки, в том числе для включения в компоненты смеси водорегулирующих подпочвенных экранов.



Рисунок 2 - Прогнозные зависимости прямых затрат от глубины канала

Список использованных источников

1. Басс, В.Н. Проблемы очистки осушительных каналов от кустарника и мелколесья. / В.Н. Басс, В.С Пунинский// Инновационные технологии в мелиорации. Материалы международной научно-производственной конференции. - М.: Издательство ГНУ ВНИИА, 2011 с. 204-208.
2. Пунинский, В.С. Перспективы механизации ремонтно-эксплуатационных работ на мелиорированных землях и каналах/ В.С. Пунинский// Рекультивация и использование залежных земель в Нечерноземной зоне России: теория и практика. Материалы Международной научно-практической конференции - Тверь: ГНУ ВНИИМЗ Россельхозакадемии, 2012, с 218 - 224.
3. Пунинский, В.С. Совершенствование средств механизации для очистки осушительных каналов/ В.С. Пунинский, Г.Х. Бедретдинов// Комплексные мелиорации – основа повышения продуктивности сельскохозяйственных земель. Материалы юбилейной международной научной конференции. - М.: Издательство ФГБНУ ВНИИА, 2014. - с. 310...318.
4. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2016 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. -196 с.
5. Пунинский, В.С. Состояние отечественных мелиоративных систем и перспективы восстановления земель с солонцовыми комплексами/ В.С. Пунинский// Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК. Материалы юбилейной международной научно-практической конференции. - М.: Изд. ВНИИГиМ, 2017. -с. 361...368.
6. Пунинский, В.С. Совершенствование технических средств для восстановления мелиоративных систем с деградированными землями и солонцами/ В.С. Пунинский// Материалы научно-практической конференции «Современные проблемы сельскохозяйственного производства на орошаемых землях». Журнал: «Пути повышения эффективности орошаемого земледелия», №1(61)/2016, Новочеркасск ФГБНУ «РосНИИПМ».- Новочеркасск: 2016, с.119-127.

7. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем. / Н. П. Бусленко. - М.: Наука, 1978. - 400 с.
8. Гордеев, А.В.; Романенко, Г.А. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России. /А.В. Гордеев, Г.А. Романенко. - М.: Росинформагротех, 2008 г.- 67 с.
9. Рекс Л.М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем/ Л.М. Рекс. - М.: Из. Аслан, 1995. - 192 с.
10. Суриков, В.В. Строительные машины для механизации гидромелиоративных работ/ В.В. Суриков, Б.А. Васильев, В.Б. Гантман; под общ. ред. В.В. Сурикова. - М.: Агропромиздат, 1985. -351 с.
11. Черненький, В.М. Имитационное моделирование / В.М. Черненький. -М.: Высшая школа, 1990, 110 с.
12. Штепа, Б.Г. Методы системного анализа в мелиорации и водном хозяйстве// Б.Г. Штепа, В.И. Воропаев [и др.]. - Л.: Гидрометеоздат, 1983, 261 с.17.
13. Методические рекомендации по разработке прогнозных нормативных показателей для планирования развития сельского хозяйства на долгосрочную перспективу /А.Ф. Поцкалев, В.И. Петранев, И.Д. Олисаева, Т.Н. Макарова// - М.: Издательство НИИПиН, -1981,- 52 с.
14. Отчет о реализации I этапа (2014-2016 годы) Федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы». – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. - 80 с.

УДК 631.6+631.95

ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ НА СИСТЕМАХ РЕЦИКЛИНГОВОГО ТИПА В ЗОНЕ ОСУШЕНИЯ

Пыленок П.И., Сельмен В.Н., Ершова Г.И., Родькина В.Н.

МФ ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», пос. Солотча, Россия

В условиях субгумидной зоны РФ, характеризующейся значительным распространением кислых почв, избыточным и неустойчивым увлажнением, периодическим промывным режимом почв, формирующим дренажный сток, загрязненный биогенными и токсичными веществами, возрастанием антропогенной нагрузки, *актуальной проблемой* становится утилизация дренажных вод. *Концептуально нами было предложено решение этой проблемы путем применения рециклинговых технологий*, которые позволяют оптимизировать водный режим территорий, экономить водные ресурсы, повторно использовать дренажные воды и растворенные в них химические вещества, ограничивать антропогенное воздействие на мелиорируемый агроландшафт и прилегающие природные объекты, включая снижение их пожароопасности.

В предыдущие годы для снижения антропогенного мелиоративного воздействия на окружающую среду, обеспечения безопасной утилизации дренажных вод, их использования для увлажнения осушаемых почв, пожаротушения на торфяниках и прилегающих лесных массивах, обеспечения эффективной продуктивности мелиорируемых агроландшафтов, ресурсосбережения, сохранения почвенного плодородия, охраны окружающей среды были разработаны методы и способы гидромелиоративного рециклига, расчетные зависимости для опреде-

ления площади увлажнения с использованием дренажных вод, объемы аккумуляции дренажных вод для целей увлажнения для технологий оперативного, сезонного и многолетнего рециклинга.

Предлагаемый подход опирается на учение В.И. Вернадского о биосфере. Цикличность биосферных процессов свидетельствует об их повторяемости, воспроизводимости, устойчивости. Не случайно В.Р. Вильямс отмечал, что единственный способ придать чему-то конечному свойства бесконечного – это заставить конечное вращаться по замкнутой кривой, т.е. вовлечь его в круговорот.

По А.Н. Костякову, регулируя в нужном для сельского хозяйства направлении круговорот воды, необходимо одновременно регулировать и усиливать биологический круговорот зольных питательных элементов, всемерно обеспечивая сохранение их путем правильного сельскохозяйственного использования мелиорируемых земель.

В условиях постиндустриальной экономики неотъемлемой чертой большинства технологий становится *рециклинг*. Однако параметры и условия применения технологий гидромелиоративного рециклинга разработаны недостаточно.

Необходимость разработки способов снижения негативного воздействия дренажных вод на водоприемники определяется требованиями «Водной стратегии РФ на период до 2020 г.». Актуальность разработки ресурсосберегающих и малоэнергоёмких технологий отмечается в Концепции федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы».

Материалы и методы. Целью исследований 2017 г. являлась разработка теоретических положений *оперативного мониторинга на гидромелиоративных системах рециклингового типа*. Цель полевых опытов состояла в исследовании в гидрометеорологических условиях 2017 г. параметров рециклинговой мелиоративной технологии, а именно в выявлении технологической эффективности дополнительного увлажнения как элемента гидромелиоративного рециклинга и обработки растений гидратированным торфом, а также в проведении мониторинга окружающей природной среды (ОПС).

В полевых условиях проводились следующие виды экспериментальных работ:

- изучение гидрометеорологических условий;
- мониторинг водного режима почв (уровни грунтовых вод, влажность почв, вертикальный водообмен);
- формирование природоохранного режима увлажнения почв дренажными водами;
- использование гидратированного торфа для обработки клубней и вегетирующих растений;
- мониторинг микробиологической активности почвенного биотического комплекса;
- учет урожая раннего картофеля;

- статистическая обработка материалов экспериментальных исследований;

Методическую основу научно-исследовательских работ составляют:

- анализ и обобщение научных и практических результатов выполненных исследований ВНИИГиМ и других научно-исследовательских институтов, российского и мирового опыта снижения антропогенной мелиоративной нагрузки на окружающую природную среду в целом и водные объекты в частности, улучшения их экологического состояния и качества воды с помощью гидромелиоративного рециклинга;
- использование экосистемного анализа для обеспечения комплексного подхода к решению вопросов, связанных с предупреждением и устранением негативного воздействия дренажных вод на природные водоемы и обеспечением экологической надежности мелиоративных систем;
- применение водного баланса как инструмента количественной оценки дренажного стока и формирования природоохранного режима увлажнения;

Анализ и обобщение ранее проведенных исследований выполнены на основе информационного поиска по литературным источникам, фондовым материалам водохозяйственных организаций, региональных ЦНТИ, ВНИИГиМ и его филиалов с привлечением Интернет-ресурсов.

Разработка схемы и параметров природоохранного режима комплексной мелиорации агроландшафтов на базе замкнутого водооборотного цикла и нанотехнологий осуществляется на основе теоретических исследований и обобщения данных полевых, лизиметрических опытов с использованием методов инженерного творчества, работ по совершенствованию водооборотных гидромелиоративных технологий в комплексе с нанотехнологиями.

Апобация технологических решений осуществлена в полевых деляночных опытах, схема и параметры которых приведены в таблице 1. Она включает формирование водооборотного режима водопользования и природоохранного режима увлажнения (ПРУ) раннего продовольственного и семенного картофеля (высокоэлитных сортов, полученных методом меристемной культуры) в вариантах «ПРУ» и «ПРУ+ГТ» и сравнения с вариантом «ГТ» (гидратированный торф) и абсолютным контролем.

Опытно-производственный участок в пойме реки Оки, на котором проводились полевые исследования, отвечает техническим и агроэкологическим требованиям, обеспечивает повторное использование дренажных вод на увлажнение. Площадь опытной делянки в каждой повторности варианта опыта составила 10 м², повторность четырехкратная, ширина делянки 4 рядка, ширина защитных полос на поливных делянках 2 рядка. Схема посадки картофеля «Красавчик» третьей репродукции 70x25 см (рис. 1). Расположение вариантов двухфакторного полевого опыта – методом рендомизированных повторений.

Таблица 1 - Схема и параметры полевого опыта с картофелем сорта «Красавчик» на экополигоне «Мещера» (объект «Пойма»), 2017 г.

Межфазные периоды вегетации	Природоохранный режим увлажнения					Поливная норма, мм
	мощность расчетного слоя почвы, м	предполивная влажность почвы		послеполивная влажность почвы		
		в долях НВ	в мм	в долях НВ	в мм	
1. Всходы – начало бутонизации (всходы – начало образования клубней)	-	-	-	-	-	-
2. Начало бутонизации – конец цветения (начало образования клубней – формирование клубней)	0,4	0,7	93	0,9	118	25
3. Конец цветения – увядание ботвы (формирование клубней – увядание ботвы)	-	-	-	-	-	-



Рисунок 1 – Полевой деляночный опыт с картофелем сорта «Красавчик» после посадки картофеля 4 мая 2017 г.

На объекте проводился комплекс агрометеорологических, гидромелиоративных, фенологических наблюдений по общепринятым методикам и оригинальным, с использованием приборного обеспечения международного российско-германского научно-технического проекта (рис. 2). Оценка биологической активности почвы устанавливается по ее целлюлозоразрушающей способности (закладка стекол с льняной тканью при посадке, экспозиция - в течение вегетации). Схема полевого деляночного опыта показана на рисунке 3.



Комплект электродов и измеритель ОВП



Тензозонды



Полевой влагомер



Комплект для отбора почв

Рисунок 2 – Приборное обеспечение для исследования гидрофизики почв

На опытном участке в пойме реки Оки весной проведено дискование и боронование. Предшественником для раннего картофеля сорта «Красавчик» являлась викоовсяная смесь в качестве сидерата. Схема размещения культур на опытном участке показана на рисунке 4, схема расположения опытного участка – на рисунке 5. Посадка картофеля произведена 4 мая клубнями третьей репродукции, которые перед посадкой были *обработаны рабочим раствором* (100 мл на 10 л дренажной воды) *гидратированного торфа*, произведенным в *Обнинском научном центре*.

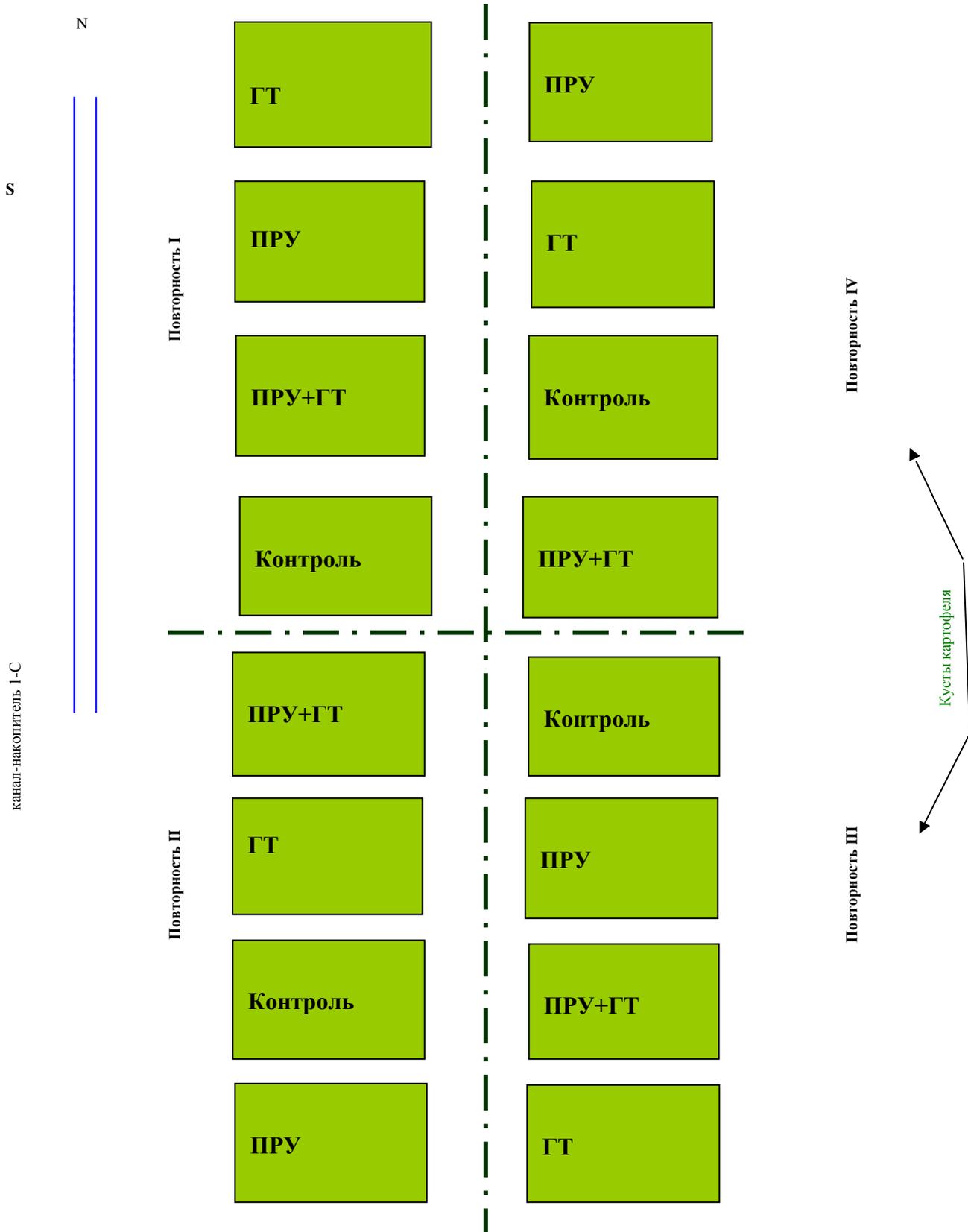


Рисунок 3 - Схема полевого деляночного опыта 2017 г. с картофелем на осушаемых аллювиальных почвах:

ПРУ - природоохранный режим увлажнения в критические фазы роста; «ГТ» - обработка клубней и растений гидратированным торфом

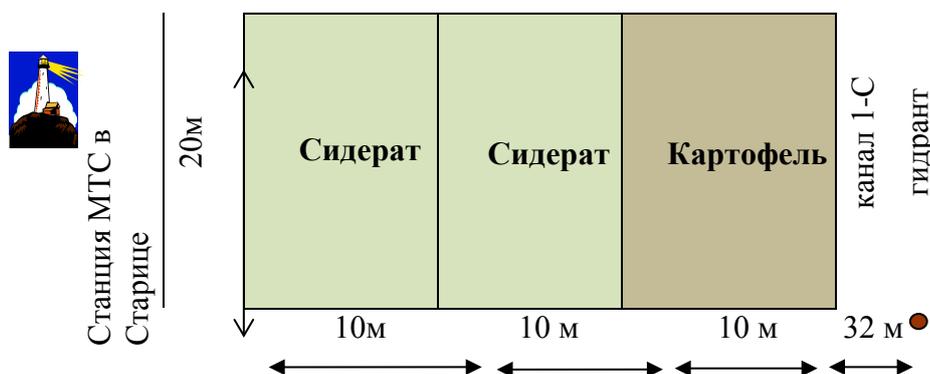


Рисунок 4 – Схема размещения культур в трехпольном севообороте опытного участка «Пойма» в 2017 г.

Подача дренажной воды для полива из магистрального канала 1-С осуществляется механизированным способом (центробежным насосом с бензиновым двигателем) с использованием счетчика-водомера для измерения количества поданной воды.

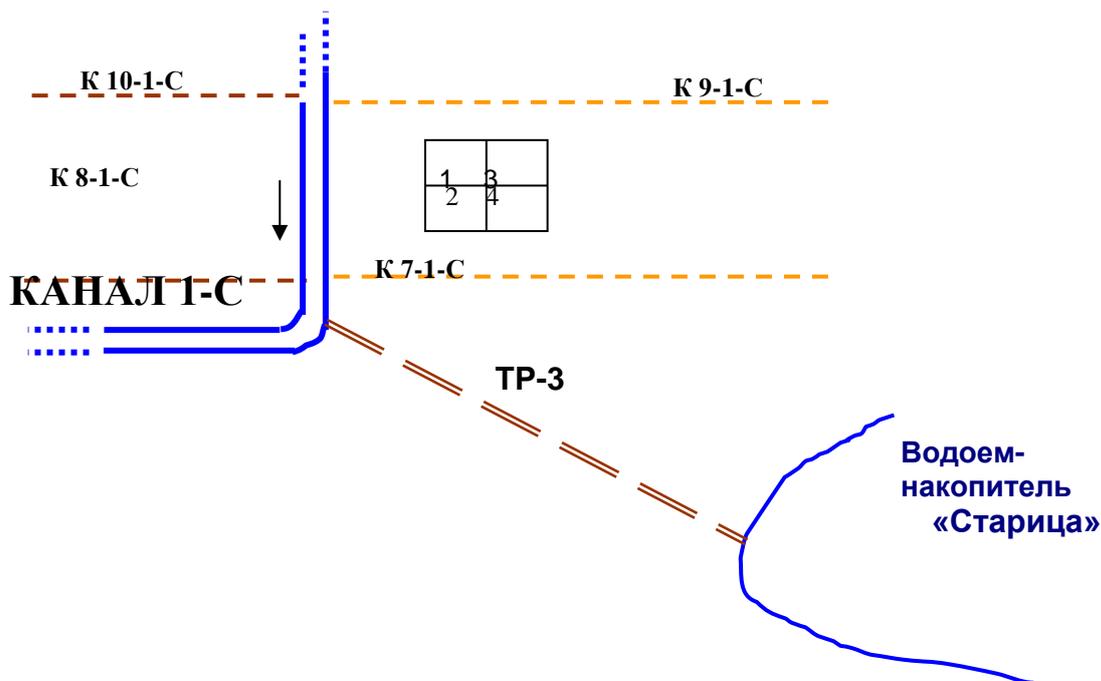


Рисунок 5 – Схема размещения участка полевого опыта на ОПУ «Пойма»

Опытный участок оборудован водозабором дренажных вод из каналанакопителя, одновременно выполняющего функции магистрального осушительного канала 1-С, для увлажнения делянок в полевым опыте применялся комплект дождевального оборудования (мотопомпа, шланги, дождеватель, счетчик-водомер), установлен почвенный дождемер ГР-28, пробурена скважина глубиной 2,5 м для наблюдения за уровнем грунтовых вод, определены пункты отбора проб почвы для измерения влажности и проведения агрохимических анализов. Для оценки микробиологической активности почвенно-биотического комплекса (ПБК) на

всех вариантах опыта на глубину 20 см в двукратной повторности установлены стекла размером 10x20 см с льняной тканью.

Почвы опытного участка дерновые, зернистые, по гранулометрическому составу тяжелосуглинистые. Объемная масса в слое 0...50 см изменяется от 1,10 до 1,28 г/см³, плотность варьирует в пределах 2,52...2,56 г/см³, коэффициент фильтрации метрового слоя 0,3...2,0 м/сут, водоотдача 0,12. предельная полевая влагоемкость в полуметровом слое почвы равна 166 мм, высота капиллярного поднятия 85 см. Пахотный горизонт слабо оструктурен, оглеение различной степени интенсивности начинается с глубины 30 см. Основными метеорологическими факторами, характеризующими условия тепло-влагообеспеченности вегетационного периода и влияющими на режим влагозапасов в почве, уровень грунтовых вод, рост и развитие растений, урожайность культур являются атмосферные осадки и температура воздуха.

Разработка теоретических положений *оперативного мониторинга на гидромелиоративных системах рециклингового типа* осуществлялась с учетом накопленного нами опыта проведения полевых исследований на мелиоративных системах и имеющихся в литературе теоретических разработок.

Термин мониторинг (от лат monitor - напоминающий, надзирающий) употребляется сравнительно недавно, с 70-х годов прошлого века. Применительно к экологии путевку в жизнь мониторинг получил по рекомендации Стокгольмской конференции ООН по ООС (1972 г.).

Мониторинг - это система наблюдений и контроля за состоянием ОПС с целью разработки прогноза ее состояния, мероприятий по охране и рациональному использованию природных ресурсов.

Различают 3 главных ступени мониторинга:

- Глобальный биосферный;
- Региональный геосистемный или природохозяйственный;
- Локальный биоэкологический или санитарно-гигиенический.

В СССР и др. странах в конце прошлого века были созданы специальные станции мониторинга; наблюдения ведутся также в биосферных заповедниках. Структура Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ) представлена на рисунке 6.

Мелиоративный мониторинг и его технологические разновидности, в т.ч. мониторинг на системах рециклингового типа, следует рассматривать как часть агроэкологического мониторинга, являющегося составной частью природохозяйственного мониторинга. Основные функции мониторинга окружающей природной среды (ОПС) по Ю.А. Израэлю представлены на рисунке 7.

В систему мониторинга входят следующие основные направления деятельности:

- 1) выделение (определение) объекта наблюдения;
- 2) обследование выделенного объекта наблюдения;
- 3) составление информационной модели для объекта наблюдения;
- 4) планирование измерений;

- 5) оценка состояния объекта наблюдения и идентификации его информационной модели;
- 6) прогнозирование измерения состояния объекта наблюдения;
- 7) представление информации в удобной для использования форме и доведение ее до потребителя.

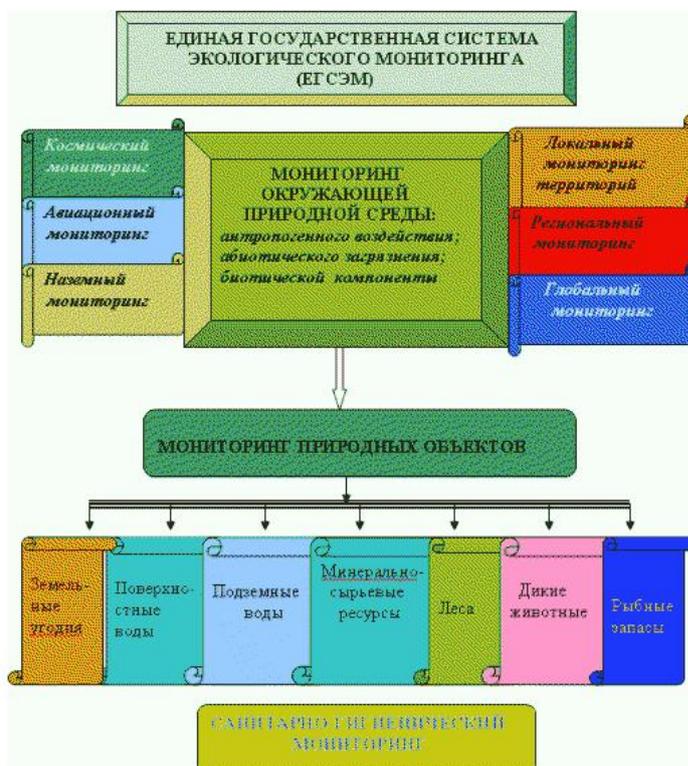


Рисунок 6 – Структура Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ)

МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- БЛОК-СХЕМА МОНИТОРИНГА (по Ю. А. Израэлю)



- ВИДЫ МОНИТОРИНГА

- ◆ Биологический (биологический, санитарно-гигиенический, санитарно-токсикологический) 
- ◆ Системный геоэкологический (природно-хозяйственный) 
- ◆ Глобальный биосферный 

Рисунок 7- Блок-схема мониторинга ОПС

Результаты и обсуждение. На мелиорируемых землях дополнительно к общим параметрам агроэкологического мониторинга (Черников, Чекерес, 2000) следует осуществлять контроль влажности почв (ежедекадно), уровня и качества грунтовых вод (ежедекадно внутри гидрологических сезонов, плюс после выпадения осадков), объем (каждые 3-5 дней), модуль дренажного стока (предпосевной, посевной и вегетационный периоды) и качество дренажных вод (гидрологические периоды); влияние осушительных систем на прилегающие земли (уровни грунтовых вод, влажность и продуктивность), вертикальный влагообмен между грунтовыми водами и почвой (в лизиметрах каждые 1-3 дня, расчет – по декадам).

На мелиорируемых пойменных землях контролируются продолжительность и высота паводкового затопления, качество паводковых вод, седиментная антропогенная нагрузка на пойменные агроландшафты, питательные и качественные свойства седиментов (ежегодно). Пункты ведения мониторинга и проботбора располагаются на участках различной продолжительности затопления:

- Краткопоемных (затопление паводковыми водами до 7-10 сут)
- Среднепоемных (до 20-25 сут)
- Долгопоемных (более 25 сут) землях.

На осушаемых торфяно-болотных почвах мониторингу подлежат такие показатели как усадка и сработка (минерализация) торфа.

На системах рециклингового типа дополнительно ведется наблюдение за качественным состоянием накопленных дренажных вод в каналах-накопителях, прудах-накопителях и других аккумулялирующих емкостях (внутри каждого водооборотного цикла).

Для учета количественных воздействий ГМС на окружающую природную среду предлагается использовать систему оценки экологической ситуации Минкомприроды (Черников, Чекерес, 2000), включающую понятия «экологической нормы», «экологического риска», «экологического кризиса» и «экологического бедствия». С учетом имеющихся отраслевых наработок в этом направлении (Айдаров и др, 1990; Маслов, Минаев, 1999; Кирейчева, 2002; Пыленок, Сидоров, 2004 и др.) для оценки состояния ОПС на рециклинговых ГМС и идентификации ее соответствия информационной модели предлагаются критерии экологической оценки осушаемых земель (табл. 2). Приведенные данные позволяют заключить, что рециклинговые ГМС по воздействию на качество поверхностных вод в засушливых гидрометеорологических условиях обеспечивают уровень «экологической нормы», а во влажные - не выходят за границы «экологического риска».

Результаты наблюдения за атмосферными осадками на опытно-производственном участке с помощью почвенного дождемера ГР-28 показаны в таблице 3. За период май-август на опытно-производственном участке (коллектор К-7-1-С) выпало 241,1 мм осадков, при этом обеспечивался в целом благоприятный водный режим аллювиальной почвы для возделывания картофеля, за исключением I и II декад мая без осадков, и III декады июня, когда выпало только 7,5 мм атмосферных осадков.

Таблица 2 - Критерии оценки экологического состояния осушаемых земель

Показатели	Уровни экологического состояния			
	Норма	Риск	Кризис	Бедствие
1. Водный режим корнеобитаемого слоя				
1.1. Поемность (затопление полыми водами), сут	До 20	20...25	25...30	более 30 или незатопление
1.2. Переувлажнение водами летних и осенних осадков:				
а) полевые севооборот. без картофеля, сут	до 0,5	0,5...1,5	1,5...3	более 3
б) то же с картофелем, часы	5...6	7...8	8...10	более 10
в) сенокосы и пастбища, сут	до 3	3...6	5...10	более 10
1.3. УГВ к началу проведения полевых работ и уборки урожая, см от поверхности				
а) торфяные, суглинистые и глинистые	60...70 и более	50...60 5...7 сут	40...50 7...10 сут	менее 40 более 10 сут
б) супесчаные и песчаные	40 и более	30...40 5...7 сут	25...30 7...10 сут	менее 25 более 10 сут
1.4. Влажность корнеобитаемого слоя почвы, % от полной влагоемкости:				
а) полевые севообороты	65...85	55...65	50...55	менее 50
б) овощные севообороты	70...80	60...70	55...60	менее 55
в) сенокосы и пастбища	80...85	70...75	60...70	менее 60
1.5. Сезонная норма увлажнения, мм	60...155	160...240	250...300	более 300
2. Уровень плодородия осушаемых минеральных почв				
2.1 Кислотность, pH	5,5...7	5,5...4,5	4,0...4,5	менее 4,0
2.2. Подвижный фосфор и обменный калий, мг на 100 г почвы	более 12	12...8	5...8	менее 5
2.3. Мощность гумусового слоя, см	более 22	22...15	10...15	менее 10
2.4. Содержание гумуса, %	2...3	1,5...2	1...1,5	менее 1
2.5. Плотность почв, г/см ³	до 1,3	1,3...1,4	1,4...1,5	более 1,5
3. Осадка и сработка торфа, см/год				
3.1. В период стабилизации (первые 2...3 года после осушения)	Менее 2	2...4	4...10	более 10
3.2. В последующие годы	Менее 1	1...2	2...4	более 4
4. Воздействие на прилегающие природные объекты				
4.1. Прилегающие земли				
а) зона понижения уровня грунтовых вод, км	до 0,5	0,5...1	1,0...1,5	более 1,5
б) зона изменения влажности почв, км	до 0,1	0,1...0,3	0,3...0,5	более 0,5
4.2. Мероприятия по регулированию водоприемника	отсутствуют	обвалование	спрямление	спрямление и углубление
4.3. Воздействие на качество поверхностных вод				
а) концентрация загрязн. веществ при	< ПДК	≤ ПДК	> ПДК	>3 ПДК
б) объемах дренажного стока	< ПДС	> ПДС	< ПДС	> ПДС

Примечание: ПДК – предельно допустимая концентрация химических веществ, мг/л;
ПДС – предельно допустимый объем сброса, м³.

Таблица 3 - Атмосферные осадки (мм) на ОПУ «Пойма», 2017 г.

Период	Май	Июнь	Июль	Август
1 декада		10,8	36,0	-
2 декада		30,8	16,0	0,9
3 декада	20,5	7,5	55,0	65,2
Σ за месяц	20,5	47,5	107,0	66,1

За период вегетации картофеля 04.05 – 25.08.2017 г. количество атмосферных осадков составило 175,9 мм, что характеризует вегетационный период как влажный с относительно неравномерным распределением осадков внутри вегетационного периода.

Режим уровня грунтовых вод на опытном участке в течение вегетационного периода картофеля (табл. 4) и характеризуется средним значением глубины залегания 1,43 м от поверхности. К моменту посадки картофеля (4.05.2017г.) уровни грунтовых вод находились на глубине 0,77 м, что близко к норме осушения посевного периода для картофеля. В течение вегетационного периода происходило в целом равномерное понижение грунтовых вод, темп которого убыстрялся в засушливые периоды и замедлялся при выпадении атмосферных осадков. К моменту уборки картофеля глубина залегания грунтовых вод составила 1,83 м от поверхности почвы.

Таблица 4 - Динамика уровня грунтовых вод, ОПУ «Пойма», 2017 год

Дата измерения	УГВ, см от поверхности	Дата измерения	УГВ, см от поверхности
04.05	77	18.06	149
18.05	111	22.06	152
31.05	133	11. 07	158
05.06	136	18.07	161
08.06	139	26.07	169
14.06	143	25.08	183

Влажность почвы измерялась с помощью измерителя влажности *НН-2* и термостатно-весовым способом, значения влагозапасов в расчетных слоях по вариантам опыта (средние по повторностям) в течение вегетационных сезонов картофеля приведены в таблице 5. Из данных таблицы следует, что влагозапасы в расчетном слое почвы под ранним картофелем фактически изменялись в пределах от 72% НВ до 104% НВ, и в целом находились в границах оптимального диапазона влажности (0,7 НВ - НВ), что в целом говорит об оптимальном гидрологическом режиме аллювиальной почвы. В этих условиях потребности в дополнительном увлажнении аллювиальной почвы не возникло.

Таблица 5 - Динамика влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы под картофелем, ОПУ «Пойма», 2017 г.

Дата измерения	Мощность расчетного слоя почвы по вариантам, м	Варианты опыта							
		ГТ		ПРУ+ГТ		ПРУ		Контроль	
		мм	%НВ	мм	%НВ	мм	%НВ	мм	%НВ
04.05 (посадка)	0,4	116,4	88,1	115,5	87,5	120,0	90,9	110,0	83,3
31.05	0,4	137,1	104,0	135,7	103,0	131,6	99,0	114,5	86,7
08.06	0,4	129,4	98,0	130	98,0	123,3	93	122	92
22.06	0,4	127,2	96,4	129,4	98	128,7	97,5	122,9	93,1
11.07	0,4	124,5	94,3	130,3	98,7	124,6	94,4	123,1	93,3
19.07	0,4	11,4	84,4	117,8	89,2	118,7	89,9	125,3	95
02.08	0,4	136,2	99,8	127,8	97	130,3	99	127	96
17.08	0,4	106,2	80	100	76	108,2	76	101,7	77
25.08 (уборка)	0,4	114	86	104,1	79	100,3	76	95	72

Режим увлажнения осушаемых аллювиальных почв и водопотребление картофеля. Природоохранный поливной режим сельскохозяйственных культур на аллювиальных почвах характеризуется постоянной на протяжении всего вегетационного сезона мощностью расчетного слоя почвы (0,4м), предположительным порогом влажности почвы для раннего картофеля 0,7 НВ; при этом вегетационные поливы при таком режиме проводятся только в наиболее влаголюбивые фазы развития картофеля (фазы бутонизации и цветения). Поливная норма (нетто) для аллювиальной почвы составляет 25 мм, технологическая 27 мм. В качестве водисточника используется канал-накопитель дренажных вод 1-С (ОПУ «Пойма»).

В сложившихся паводковых (отсутствие половодья) и метеорологических условиях влажность почвы в слое 0,4м (см. табл. 5) находилась в оптимальном диапазоне влажности и полив картофеля не проводился.

Водопотребление определялось из уравнения водного баланса расчетного слоя почв (0,4 м):

$$E = W_n - W_k + x + \sum m + g \quad (1)$$

где W_n и W_k - влагозапасы в расчетном слое почвы в начале и конце расчетного периода, мм; x – атмосферные осадки за расчетный период, мм; $\sum m$ – сумма поливных норм за расчетный период, мм; g – вертикальные влагообмен между почвой и грунтовыми водами.

Водопотребление среднеспелого картофеля в условиях применения рециклинговой технологии составило 265 мм. В вариантах без увлажнения водопотребление составило более 242 мм. Расчет вертикального водообмена показал, что в целом за период вегетации он был положительным и изменялся в пределах 2,9...6,4 мм (табл. 6).

Таблица 6 - Природоохранный поливной режим и водопотребление среднеспелого картофеля сорта «Красавчик» на ОПУ «Пойма», 2017 г.

Варианты опыта	Водопотребление, мм	Вертикальный водообмен, мм	Вегетационные поливные нормы, мм	Сезонные нормы увлажнения, мм
ПРУ	180,8	+2,9	0	0
ПРУ+ГТ	192,6	+5,3	0	0
ГТ	187,3	+1,7	0	0
контроль	186,9	+6,4	0	0

Фенологические наблюдения. На опытных делянках велись фенологические наблюдения, позволившие установить даты начала и завершения фаз роста и развития культур (табл. 7, рис. 8).

Таблица 7 - Фазы развития средне раннего картофеля «Красавчик», 2017 г.

Посадка	Начало всходов	Полные всходы	Начало бутонизации	Полная бутонизация	Начало фазы цветения	Полное цветение	Начало увядания ботвы	Уборка
04 мая	25 мая	08 июня	05 июля	14 июля	15 июля	11 августа	17 августа	25 августа



Рисунок 8 – Полные всходы (слева) и фаза бутонизации (справа) картофеля сорта «Красавчик» на опытном участке, 2017 год

Как показали результаты анализа почв опытно-производственного участка «Пойма», выполненные в предыдущие годы (табл. 8), пахотный слой почвы характеризуются слабокислой реакцией раствора (экологический риск), более благоприятной по сравнению с лугом (рН = 4,7), хорошей обеспеченностью фосфором. Уровень плодородия почвы может быть охарактеризован как «ниже среднего», а степень деградации как «среднедеградированная».

Таблица 8 - Агрохимическая характеристика почв на ОПУ «Пойма»

Участок	Дата отбора проб	Место пробоотбора	рН	P ₂ O ₅ , мг/кг почвы	Гумус, % (по данным 2014 г.)
ОПУ «Пойма»	13 мая 2015 г.	Картофель (контроль)	5,7	21,0	6,4
		Картофель (нано)	6,2	20,1	5,1
		Картофель (ПРУ+нано)	5,8	20,8	5,8
		Картофель (ПРУ)	6,1	19,3	6,18
		луг	4,7	17,7	

Микробиологическая активность почв по вариантам опыта изучалась в пахотном (20 см) слое по целлюлозоразрушающей активности в двукратной повторности. Время экспозиции составило 113 суток (с 4 мая по 25 августа). По вариантам опыта картофельной плантации в предшествующие годы не выявлено закономерных тенденций активности почвенно-биотического комплекса при обработке гидратированным торфом. В текущем году степень разложения в вариантах ПРУ изменялась от 69 до 73%, в вариантах «ГТ» - от 85 до 92%, в вариантах «Пру+ГТ» - от 85 до 89%, на контроле – от 69 до 73%. Время экспозиции равнялось 90 суткам. Средние значения по вариантам опыта показаны на рисунке 9, из которого можно видеть, что в вариантах с гидратированным торфом микробиологическая активность почвы была выше, чем на контроле, на 14-17% абс.

Урожайность сельскохозяйственных культур. В результате учета урожая, выполненного 25 августа 2017г. (рис. 10) было установлено, что средняя урожайность картофеля «Красавчик», возделываемого на аллювиальной почве ОПУ «Пойма», изменялась по вариантам полевого деляночного опыта от 17,63 т/га до 20,67 т/га (табл. 9) при диапазоне изменчивости от 16,16 т/га до 24,64 т/га.

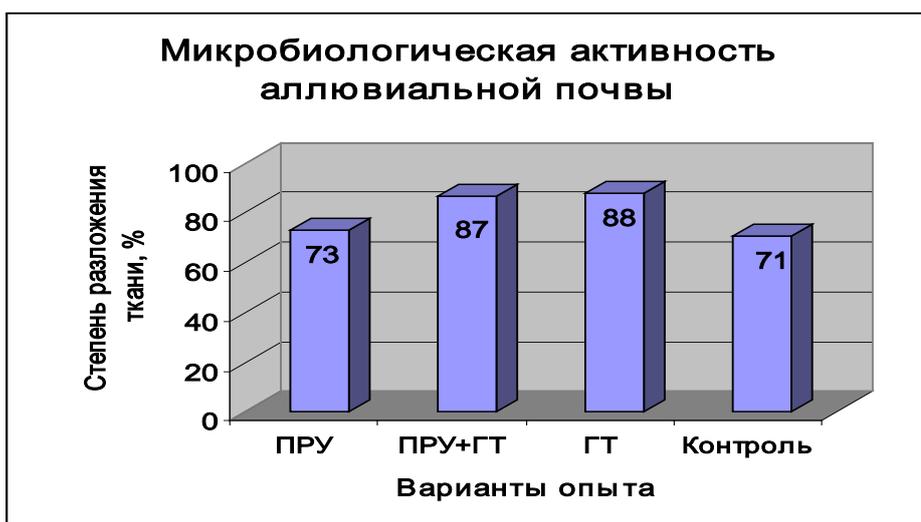


Рисунок 9 – Микробиологическая активность аллювиальной почвы в вариантах опыта, 2017 г.



Рисунок 10 – Учет урожая картофеля сорта «Красавчик», 2017 г.

Таблица 9 - Урожайность раннего картофеля «Красавчик» на аллювиальной дерново-луговой почве, т/га. ОПУ «Пойма», 2017 г.

Вариант увлажнения (А)	Вариант ГТ (В)	Повторения, (n)				Средние	% к контролю
		1	2	3	4		
контроль	0	16,16	17,59	20,22	16,56	17,63	-
	ГТ	18,84	19,46	24,64	18,75	20,42	115,8
ПРУ	0	17,32	18,30	21,18	16,25	18,26	103,6
	ГТ	18,21	22,50	22,86	19,11	20,67	117,2

Средняя урожайность на контроле составила 17,63 т/га, обработка клубней гидратированным торфом повышала урожайность на 2,79 т/га, или 15,8%. В варианте ПРУ+ГТ урожайность по сравнению с абсолютным контролем выросла на 3,04 т/га, или 17,2%.

Дисперсионный анализ двухфакторного полевого опыта с увлажнением и нанотехнологией (обработка клубней рабочим раствором гидратированного торфа) показал (табл. 10), что на 5% уровне значимости эффекты от увлажнения недостоверны, от применения гидратированного торфа – достоверны, от взаимодействия исследуемых факторов - недостоверны.

Таблица 10 - Действие увлажнения и гидратированного торфа на урожайность среднераннего картофеля сорта «Красавчик», т/га. ОПУ «Пойма», 2017 г.

Увлажнение (А)	Гидратированный торф (В)		Средние по фактору (А) (НСР ₀₅ =1,067 т/га)
	Не применялся	Применялся	
контроль	17,63	20,42	19,03
ПРУ	18,26	20,67	19,47
Средние по фактору (В) (НСР ₀₅ =1,067 т/га)	17,95	20,55	19,25

Для сравнения частных средних – НСР₀₅= 0,875 т/га

Анализ данных таблицы 10 показывает, что *эффект от увлажнения* по сравнению с контролем несущественный (поскольку увлажнение не требовалось и не проводилось) как без применения гидратированного торфа ($18,26 - 17,63 = 0,63$ т/га $< 0,875$ т/га), так и с использованием гидратированного торфа ($20,67 - 20,42 = 0,25$ т/га $< 0,875$ т/га).

Применение гидратированного торфа обеспечило существенный эффект как на фоне увлажнения ($20,67 - 18,26 = 2,41 > 0,875$ т/га) так без увлажнения на контроле ($20,42 - 17,63 = 2,79 > 0,875$ т/га).

Значимость среднего (главного) эффекта от увлажнения (А), независимо от вариантов нанотехнологии: $19,47 - 19,03 = 0,44$ т/га $< 1,067$ т/га (НСР₀₅) – эффект существенный.

Значимость среднего эффекта нанотехнологии (В), независимо от увлажнения: $20,55 - 17,95 = 2,6$ т/га $> 1,067$ т/га (НСР₀₅) – эффект от применения гидратированного торфа существенный.

Таким образом, достоверные прибавки урожая картофеля на 5% уровне значимости получены от применения гидратированного торфа, как по частным средним, так и по главным факторам.

Экологическая эффективность. Экологическая эффективность (табл. 11) определена по показателю ресурсоемкости изучаемых технологий, который

определялся по общему водопотреблению. По затратам оросительной воды оценка не проводилась, поскольку в текущем году дополнительное увлажнение не потребовалось.

По общему расходу воды на единицу продукции наиболее эффективными оказались варианты с применением гидратированного торфа «ПРУ+ГТ» - 93,2 м³/т, «ГТ» - 91,7 м³/т. Далее следуют «ПРУ» - 99,03 м³/т и «контроль» - 106,0 м³/т. Экономия воды от применения гидратированного торфа по сравнению с контролем изменялась от 5,9 до 14,5 %.

Таблица 11 - Расход воды на единицу продукции (среднеспелый картофель сорта «Красавчик»), ОПУ «Пойма», 2017 г.

Варианты опыта	Урожайность, т/га	Сезонная норма увлажнения, м ³ /га	Водопотребление, м ³ /га	Ресурсоемкость, м ³ /т	
				по водопотреблению	по оросительной норме
ПРУ	18,26	0	1808	99,0	не опр.
ПРУ+ГТ	20,67	0	1926	93,2	не опр.
ГТ	20,42	0	1873	91,7	не опр.
Контроль	17,63	0	1869	106,0	не опр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработка теоретических положений *оперативного мониторинга на гидромелиоративных системах рециклингового типа* осуществлялась с учетом требований к агроэкологическому мониторингу. Предложена структура и показатели для мелиорируемых пойменных и болотных ландшафтов. *На системах рециклингового типа* дополнительно следует наблюдать за качественным состоянием накопленных дренажных вод в каналах-накопителях, прудах-накопителях и других аккумулирующих емкостях (внутри каждого водооборотного цикла).

2. Для учета количественных воздействий ГМС на окружающую природную среду предлагается использовать систему оценки экологической ситуации Минкомприроды, включающую понятия «экологической нормы», «экологического риска», «экологического кризиса» и «экологического бедствия». Установлено, что рециклинговые ГМС по воздействию на качество поверхностных вод в засушливых гидрометеорологических условиях обеспечивают уровень «экологической нормы», а во влажные - не выходят за границы «экологического риска».

3. В полевом деляночном опыте на пойменных землях р. Оки в 2017 г. было продолжено изучение эффективности рециклинговой технологии с применением для увлажнения дренажных вод и обработкой клубней картофеля гидратированным торфом при возделывании среднераннего картофеля «Красавчик» третьей репродукции. Одновременно проводился мониторинг состояния окружающей

природной среды с оценкой продуктивности, микробиологической активности почвенно-биотического комплекса и экологической эффективности.

4. В условиях влажного по теплому вегетационного периода сельскохозяйственных культур и отсутствии паводкового затопления опытного участка весной сформировался водный режим почвы под ранним картофелем, характеризующийся средним за период наблюдений уровнем грунтовых вод 1,43 м от поверхности. Влажность почвы в корнеобитаемом слое почвы в сложившихся гидрометеорологических условиях была близка к оптимальной. Дополнительное увлажнение почвы под картофелем не потребовалось.

5. Средняя урожайность картофеля сорта «Красавик» на контроле составила 17,63 т/га. Обработка клубней гидратированным торфом повышала урожайность на 2,41...2,79 т/га, или 15,8%, в При дополнительном увлажнении нормой 25 мм урожайность по сравнению с абсолютным контролем выросла на 2,48 т/га, или 13...17,4%. Дисперсионным анализом установлено, что эти прибавки достоверны на 5% уровне значимости.

6. Экологическая эффективность технологий определена по показателю ресурсоемкости изучаемых технологий возделывания среднераннего картофеля сорта «Красавчик». По общему расходу воды на единицу продукции наиболее эффективными оказались варианты с применением гидратированного торфа - 92,4 м³/т. Экономия воды от применения гидратированного торфа по сравнению с контролем составила 4,2...14,3 м³/т, или в среднем 8%.

Список использованных источников

1. Айдаров И. П., Голованов А. И., Никольский Ю. Н. Оптимизация мелиоративных ежимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель. – М.: Агропромиздат, 1990. – 60 с.
2. Кирейчева Л.В. Экологические основы комплексных мелиораций агроландшафтов // Экологические проблемы мелиораций. - М.: УПК «Федоровец», 2002, с.5-9.
3. Маслов Б.С., Минаев И.В. Осушительные системы XXI века – М.: Россельхозакадемия, 1999. – 80с.
4. Парфенова Н. И., Исаева С. Д., Зинковский В. Н. и др. Экологическое обоснование мелиорируемых земель (методическое пособие). – М.: Изд. УПК «Федоровец», 2001 – 343с.
5. Пыленок П. И., Сидоров И. В. Природоохранные мелиоративные режимы и технологии. – М, Россельхозакадемия, 2004. -323 с.
6. Пыленок П.И. Повышение эффективности управления водными ресурсами мелиорируемых территорий на основе гидромелиоративного рециклинга // Материалы V Международного Водного Форума «Водные ресурсы и климат» 5-6 октября 2017 г. В 2-х частях. – Минск, 2017. – Ч. 2. – С. 5–10. 0,38 п. л.
7. Черников В.А., Чекерес А.И. (ред.). Агроэкология. –М.: Колос, 2000.–536 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КАЧЕСТВЕННЫМ СОСТАВОМ ДРЕНАЖНО-СБРОСНЫХ ВОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ВОДОПРИЕМНИКИ

Стрельбицкая Е.Б., Соломина А.П.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В статье рассмотрены основные положения построения сети мониторинга качества дренажно-сбросных вод мелиоративных систем и их водоприемников. Определены порядок организации и проведения наблюдений за качественными показателями вод: места расположения пунктов наблюдения, периодичность отбора проб, состав определяемых показателей в зависимости от программы наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши. Составлена схема методов обработки данных результатов наблюдений и лабораторных анализов, а также структурная схема мониторинга, систематизирующая все этапы проведения наблюдений и оценки состояния качества природных и дренажно-сбросных вод.

Ключевые слова: ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ СИСТЕМЫ, ДРЕНАЖНО-СБРОСНЫЕ ВОДЫ, МОНИТОРИНГ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА, ПУНКТЫ НАБЛЮДЕНИЙ, СТВОРЫ ОТБОРА ПРОБ, КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ.

Высокий уровень антропогенной нагрузки на природные воды, в том числе при функционировании гидромелиоративных систем (формирующих потоки воды с повышенным содержанием биогенных элементов, органических соединений, пестицидов и других загрязняющих веществ), приводит к ухудшению экологического состояния водных объектов вплоть до их деградации. Качество поверхностных вод, как правило, не отвечает нормативным требованиям для основных видов водопользования. Происходит это на фоне сокращения сети и количества наблюдений, применения устаревших средств, снижения информативности получаемых данных в системе мониторинга и ослабления контроля за влиянием на водные объекты антропогенной деятельности [1].

Мониторинг качественного состава дренажно-сбросных вод (ДСВ) в контексте оценки воздействия гидромелиоративных систем на их водоприемники является первостепенным этапом для разработки приемов регулирования и управления выносом загрязняющих компонентов с мелиорируемых земель и специальных мероприятий по предотвращению загрязнения природных вод, совершенствования экологически безопасных гидромелиоративных систем.

Мониторинг водных объектов представляет собой систему наблюдений, оценки и прогноза изменений их состояния и включает в себя:

- регулярные наблюдения за количественными и качественными показателями состояния поверхностных вод и загрязнением водных объектов;

- сбор, обработку, обобщение и хранение сведений, полученных в результате наблюдений; создание и ведение банков данных; внесение сведений в государственный водный реестр;

- оценку и прогноз изменений состояния водных объектов, количественных и качественных показателей состояния природных вод.

К основным задачам наблюдений относятся обеспечение хозяйственных органов и заинтересованных организаций систематической информацией и прогнозами изменения гидрохимического режима и качества воды водоемов и водотоков, а также экстренной информацией о резких изменениях качества воды для принятия управленческих решений. Выполнение работ по учету стока с мелиорируемых территорий должны осуществлять подведомственные Департаменту мелиорации Минсельхоза РФ оперативно-производственные подразделения. Однако наблюдения за показателями дренажного стока в настоящее время проводятся не во всех Управлениях мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения из-за отсутствия соответствующих эксплуатационных структур и финансирования данных видов работ[2,3].

В основе организации и проведения наблюдений и контроля качества вод (как природных, так и ДСВ) лежат основные принципы [4]:

- а) комплексность и систематичность наблюдений;

- б) согласованность сроков их проведения с характерными фазами гидрологического режима водного объекта;

- в) определение показателей качества воды едиными методами.

Соблюдение этих принципов достигается с помощью:

- установления программ контроля (по физическим, гидрохимическим, гидробиологическим и гидрологическим показателям);

- периодичностью проведения контроля;

- выполнением анализа проб воды по единым, обеспечивающим требуемую точность и репрезентативность методикам.

Наблюдения за изменением качества воды проводятся с помощью:

- сети стационарных наблюдений (определяются показатели по полной или сокращенной схеме), периодичность которых должна обеспечивать связь между показателями;

- временно-экспедиционных постов и передвижных станций при проведении разовых наблюдений (обследование по интересующим параметрам);

- применения расчетных методов (по мере накопления данных проверяются или устанавливаются связи между параметрами и закономерности их изменения), позволяющих сократить количество определяемых параметров и увеличить интервал между проведением наблюдений.

Первый этап организации работ по наблюдению и контролю качества поверхностных вод и ДСВ – выбор *местоположения пунктов контроля*. Пункты организуют в первую очередь на водоемах и водотоках, имеющих большое хозяйственное значение, а также подверженных значительному загрязнению. При организации наблюдений за показателями стока дренажно-сбросных вод пункты наблюдений организуют в районах организованного сброса ДСВ на коллекторах,

дренах, водоприемниках. В пунктах наблюдений на водоприемниках организуют несколько створов, местоположение которых устанавливают в соответствии с РД 52.24.309-2011 (табл.1) с учетом гидро- и морфометрических особенностей водоема или водотока; расположения источников загрязнения; количества, состава и свойств сбрасываемых сточных вод.

Получаемые в створах данные должны позволять формировать многолетние ряды контролируемых параметров водных объектов. В этом случае учитывается использование расчетных методов (особенно для неконтролируемых постоянными наблюдениями створов), в том числе методов аналогии на фоне районирования территории [1].

Состав определяемых гидрохимических показателей воды устанавливается с учетом программы проведения наблюдений за загрязнением поверхностных вод в соответствии с рекомендациями Росгидромета[4]. Перечень наблюдаемых ингредиентов и показатели качества воды определяются составом и объемом сточных вод, их токсичностью и требованиями, предъявляемыми со стороны потребителей, что обуславливает некоторое различие программ наблюдения (табл. 2). Пункты наблюдений, расположенные в районах сброса ДСВ с мелиорируемых территорий, относятся к одной из четырех категорий в зависимости от уровня загрязненности воды водоема или водотока в пункте.

Таблица 1 – Местоположение пунктов наблюдений при организованном сбросе сточных вод [4].

Тип водного объекта	Количество створов	Расположение створов
Водоем	Не менее 3 на водоеме с интенсивным водообменном	Выше источника загрязнения примерно на 1 км (вне влияния сточных вод) Ниже источника загрязнения – не менее двух: один – на расстоянии 0,5 км от места сброса сточных вод; остальные - за границей зоны загрязненности
Водоем	Не менее 6 на водоеме с умеренным и замедленным водообменном	Один – в неподверженной загрязнению части водоема Один – в створе сброса сточных вод Не менее двух по обе стороны от сброса сточных вод: один – на расстоянии 0,5 км от места сброса сточных вод; остальные - за границей зоны загрязненности
Водоток	Не менее 2	Выше источника загрязнения примерно на 1 км (вне влияния сточных вод) Ниже источника загрязнения: а) в створе достаточно полного (80%) смешения сточных вод с водой водотока; б) в створе с учетом интересов водопользователей (в зависимости от условий смешения, но не далее 0,5 км от сброса сточных вод)

Таблица 2 – Категории пунктов наблюдений и характеристика загрязненности воды в районе пункта наблюдений [4]

Категория пункта наблюдений	Характеристика загрязненности воды водоема или водотока в районе пункта наблюдений
1 ¹⁾	Повторяющиеся аварийные сбросы загрязняющих веществ и заморные явления водных организмов. Высокая загрязненность воды в результате организованного сброса сточных вод ²⁾
2	Систематическая средняя загрязненность воды в результате организованного сброса сточных вод ²⁾
3	Систематическая низкая загрязненность воды в результате организованного сброса сточных вод ²⁾
4	Водоемы и водотоки, а также их участки, не подверженные антропогенному воздействию

¹⁾ Пункты категории 1 располагают на средних и больших водоемах и водотоках, имеющих важное хозяйственное значение, или на малых в случае обособленной необходимости.

²⁾ Степень загрязненности воды определяется в соответствии с РД 52.24.643.

Примечание: пункты наблюдений, расположенные в районах сброса сточных вод, в том числе в районах организованного сброса с мелиорируемых территорий, относятся к одной из четырех категорий в зависимости от уровня загрязненности воды водоема или водотока

Периодичность проведения наблюдений, частота отбора проб воды и виды программ устанавливаются в соответствии с категорией пункта (табл. 3).

Таблица 3 – Виды программ наблюдений по гидрохимическим показателям и периодичность их проведения[4]

Периодичность проведения наблюдений	Вид программы наблюдений для пункта категории			
	1	2	3	4
Ежедневно	Сокращенная программа № 1	Визуальные наблюдения	-	-
Ежедекадно	Сокращенная программа № 2	Сокращенная программа № 1	-	-
Ежемесячно	Сокращенная программа № 3			-
В основные фазы водного режима	Обязательная программа			

Перечень гидрохимических показателей по различным программам наблюдений представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень гидрохимических показателей, определяемых по Программам проведения наблюдений [4]

Наименование показателя	Программа			
	обязательная (ОП)	сокращенная (СП)		
		№ 1	№ 2	№ 3
Визуальные наблюдения	+	+	+	+
Физические показатели				
Температура	+	+	+	+
Цветность	+			
Прозрачность	+			
Запах	+			
Окислительно-восстановительный потенциал	+			
Удельная электрическая проводимость		+	+	
Химические показатели				
Взвешенные вещества	+		+	+
Водородный показатель	+		+	+
Растворенный кислород, % насыщения воды	+	+	+	+
Диоксид углерода	+			
Хлоридные, сульфатные, гидрокарбонатные ионы ^{1), 2)}	+			
Кальция, магния, натрия, калия ионы ^{1), 2)}	+			
Жесткость ионы ^{1), 2)}	+			
Сумма ионов ^{1), 2)}	+			
Азот аммонийный ²⁾ , нитритный ²⁾ , нитратный ²⁾	+			
Фосфор фосфатный ²⁾	+			
Железо общее ²⁾	+			
Кремний ²⁾	+			
БПК ₅	+		+	+
ХПК	+		+	+
Нефтепродукты ²⁾	+			
Фенолы (летучие) ²⁾	+			
Тяжелые металлы ^{2), 3)}	+		+	+
Загрязняющие вещества ^{2), 3), 4)}	+		+	+
¹⁾ При наличии нескольких створов ниже источника загрязнения содержание главных ионов допускается измерять только в первом после сброса сточных вод створе ²⁾ К характерным загрязняющим веществам могут относиться главные ионы, биогенные вещества, в этом случае эти вещества определяют по СП № 2 и/или СП № 3 ³⁾ Перечень тяжелых металлов и других загрязняющих веществ, определяемых по СП № 2 и/или СП № 3, устанавливают на основании данных о химическом составе сбрасываемых в районе пункта наблюдений сточных вод и предварительных обследований водного объекта ⁴⁾ По СП № 3 определяют все характерные для пункта наблюдений загрязняющие вещества, по СП № 2 определяют 2-3 наиболее характерных загрязняющих вещества <i>Примечание:</i> знаком «+» отмечены показатели, которые следует определять				

Периодичность проведения наблюдений за содержанием пестицидов устанавливают согласно РД 52.18.263-90 с учетом категории пункта наблюдений и персистентности пестицида, учитывая гидрологическую ситуацию на водоеме или водотоке и сроки обработки сельскохозяйственных угодий [5].

Сроки отбора проб на гидробиологический анализ следует совмещать со сроками отбора проб на анализ по гидрохимическим показателям. В пунктах 1-3 категорий контроль по гидробиологическим показателям рекомендуется проводить ежемесячно по сокращенной программе и ежеквартально по полной.

График лабораторного контроля качества дренажного стока, а также перечень определяемых показателей с периодичностью контроля согласовывается в филиалах региональных учреждений мелиорации [2]. В целях корректировки запланированных видов анализов в период вегетации необходимо осуществлять сбор сведений у землепользователей о сроках хим. обработки растений.

Качественные показатели ДСВ должны определяться по результатам химических анализов в аккредитованных лабораториях или с применением поверенных портативных приборов различных конструкций, включенных в реестр средств измерений.

Мониторинг проводится на основе постоянного отслеживания изменений в водных объектах и на водосборных территориях современными техническими средствами. Для этого необходимо развитие пригодных для разных уровней мониторинга методов оценки и прогноза состояния объектов, с учетом обратной связи, которая осуществляется периодическим контролем фактического состояния [1]. На рисунке 1 показана классификация методов обработки данных результатов наблюдений, лабораторных анализов и оценки качественного состава природных вод и ДСВ. Выбор среди них нужного метода контроля качества зависит от целей использования воды, предъявляемых к ней требований и доступности информации [6].

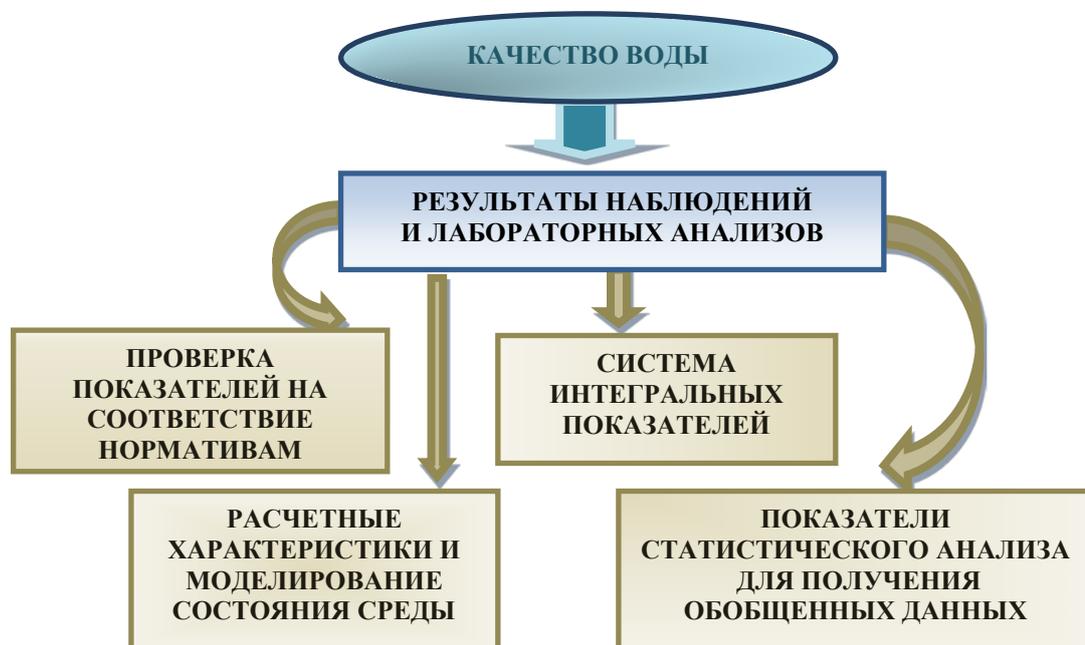


Рисунок 1 – Классификация методов обработки данных результатов наблюдений и лабораторных анализов

Достаточно объективными показателями степени загрязненности рек и водоемов являются характеристики, основанные на данных натуральных наблюдений или теоретических расчетов параметров зон загрязнения, устанавливаемых по превышению концентраций загрязняющего вещества над ПДК или другими нормативными значениями. Перечень формализованных характеристик из двух групп оценочных показателей приведен в таблице 5.

Основные показатели служат для комплексной оценки степени загрязненности воды водных объектов. Оценивание качества воды может проводиться как с применением всего набора показателей, так и отдельных их групп, либо единичных характеристик. Наиболее информативными комплексными оценками являются удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ), класс качества воды и ряд других показателей [7].

Расчетный мониторинг дает возможность выявить и обратить внимание прежде всего на потенциально опасные с экологической точки зрения места и в первую очередь именно там планировать проведение инструментального мониторинга для детального изучения причин неблагоприятной экологической ситуации [1].

Исходя из вышеизложенного, в общем виде структурную схему мониторинга качественного состава природных и дренажно-сбросных вод, систематизирующую все этапы проведения наблюдений и оценки состояния их качества можно представить в следующем виде (рис. 2).

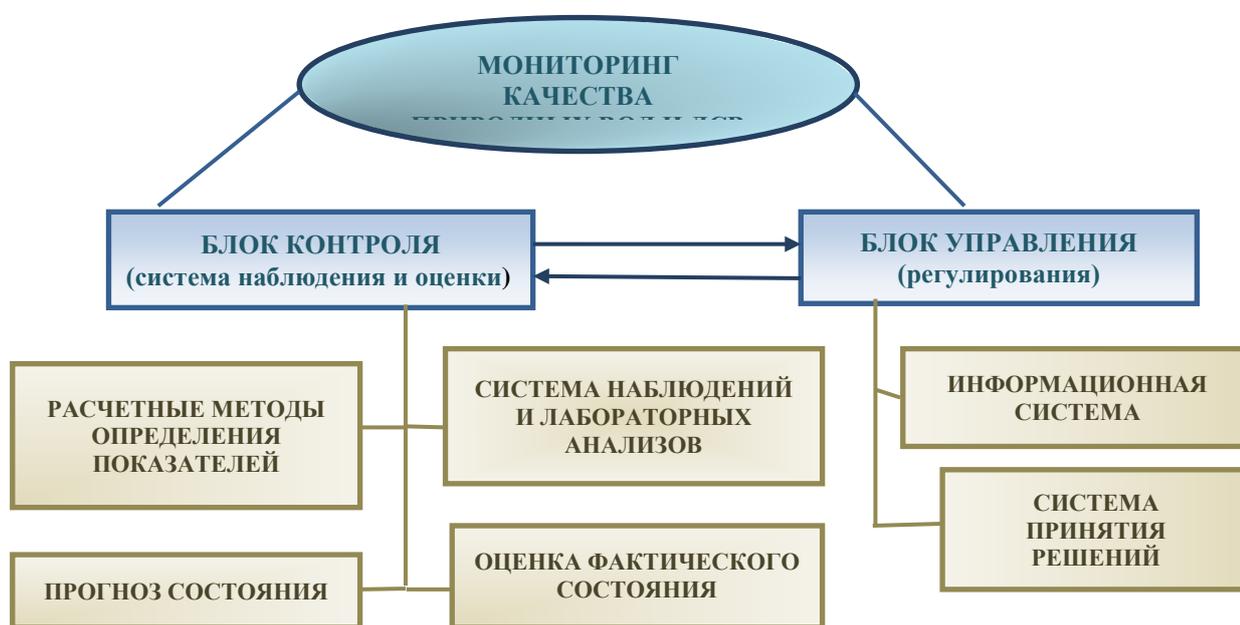


Рисунок 2 – Структурная схема мониторинга качественного состава природных и дренажно-сбросных вод

Таблица 5 – Перечень расчетных оценочных показателей степени загрязненности поверхностных вод [7]

Характеристика информации, отражаемой показателем	Расчетные оценочные показатели	
	промежуточные	основные
По каждому ингредиенту для одного результата анализа	Кратность превышения 1 ПДК Кратность превышения концентраций, соответствующих высокому уровню загрязненности ВЗ Кратность превышения концентраций, соответствующих экстремально высокому уровню загрязненности воды ЭВЗ	
По каждому ингредиенту для всех результатов анализа за оцениваемый период времени	Средняя кратность превышения 1 ПДК для проб, в которых оно обнаружено Повторяемость случаев превышения 1 ПДК	Частные оценочные баллы по кратности превышения ПДК Частные оценочные баллы по повторяемости случаев превышения ПДК
По комплексу ингредиентов за оцениваемый период времени	Среднегодовая концентрация Общее число ингредиентов, учитываемых в оценке качества воды Число ингредиентов, по которым наблюдается нарушение нормативных требований Коэффициент запаса	Обобщенные оценочные баллы Коэффициент комплексности загрязненности воды Коэффициент комплексности высокого и экстремально высокого уровней загрязненности воды Критические показатели загрязненности воды (число и перечень) Комбинаторный индекс загрязненности воды Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды Класс качества воды

Из схемы следует, что её основными частями являются *блок контроля* (система пунктов получения информации) и *блок управления* (управляющий и регулирующий центры), связанные между собой каналами передачи информации [8]. Благодаря правильно организованной системе наблюдений, применению методов обработки данных результатов наблюдений и лабораторных анализов и оценки качества воды, прогноза состояния и изменений качества воды, обобщения и хранения сведений, полученных в результате наблюдений, возможно принятие адекватных решений по улучшению качественного состава ДСВ, а также снижению их негативного воздействия на природные воды.

Технические средства оперативного контроля качества природных вод и ДСВ. При контроле качественных показателей ДСВ мелиоративных систем и природных вод необходимы как лабораторные, так и методы экспресс-анализа. Лабораторные методы исследований дают высокую точность результатов, однако требуют участия квалифицированных специалистов, связаны с трудоемкими и долгосрочными исследованиями. Методы экспресс анализа, осуществляемые с применением поверенных портативных приборов различных конструкций, включенных в реестр средств измерений, могут дать быстрый результат измерений, не требуют высоких затрат и подготовки персонала, позволяют получить оперативную информацию.

В последнее время во всем мире внедряются автоматизированные системы контроля и используются новые, современные приборы мониторинга, обеспечивающие точность, достоверность, комплексность оценки загрязнений водной среды. Они выполняют не все необходимые функции, однако их преимуществом является непрерывность измерений. Автоматизированная система контроля качества воды – комплекс технических средств, которые измеряют во времени и пространстве физические, химические и биологические показатели качества воды, дают возможность автоматически осуществлять отбор проб воды, измерение, обработку и передачу информации.

Системы для осуществления оперативного контроля загрязнения водных объектов представляют собой автоматические посты или станции контроля воды, располагаемые в стационарных сооружениях; передвижные лаборатории различных моделей и анализаторы. При этом автоматические средства являются первичным звеном в информационном контуре получения оперативной информации более общей системы контроля объектов окружающей среды, обеспечивая функционирование системы в реальном масштабе времени. В таблице 6 приведены показатели качества воды, которые могут быть рекомендованы для автоматических определений.

Передвижные гидрохимические лаборатории обеспечивают оперативный контроль качества воды, который невозможно осуществить с помощью стационарных станций, получают информацию непосредственно на водном объекте и одновременно доставляют пробы для детального анализа в лабораториях. К анализаторам относят приборы, которые дают возможность получать данные о химическом составе воды в условиях лабораторий или непосредственно на месте возле водного объекта автоматическим или полуавтоматическим способом. Это

портативные приборы для измерения рН (рН-метры, рН-электроды), удельной проводимости (кондуктометры), растворенного в воде кислорода (оксиметры, БПК-тестеры), концентрации ионов (ионометры, солемеры, нитратометры и пр.) и другие разнообразные анализаторы и датчики (электроды) для определения гидрохимических компонентов в воде.

Таблица 6 – Показатели качества поверхностных вод, рекомендованные для определений автоматическим методом контроля

Характерные показатели	Свойства воды и ингредиенты, которые измеряются
Минеральные вещества	Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-
Органические вещества	Общий органический углерод, БПК, растворенный кислород
Показатели эвтрофикации	Первичная продукция и деструкция или хлорофилл; растворенный кислород; NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , $\text{N}_{\text{общ}}$, PO_4^-
Специфические загрязняющие вещества	Тяжелые металлы (Hg, Pb, Cd и прочие), пестициды, нефтепродукты, фенолы, СПАВ
Общие показатели	Температура, рН, электрическая проводимость, окислительно-восстановительный потенциал

Центр обработки гидрохимической информации осуществляет систематизацию и интерпретацию информации, полученной от автоматических станций, передвижных и стационарных гидрохимических лабораторий; сбор, проверку на достоверность, хранение и предоставление пользователям информации, в частности оперативных краткосрочных прогнозов. Количество наблюдений, которые осуществляются на разнообразных уровнях автоматических станций в зависимости от поставленных задач, колеблется от 1-4 в месяц до 12 в сутки, становясь частью общей системы управления качеством воды, которая оказывает содействие оптимизации водоохранных мероприятий.

Выводы

Организация и проведение наблюдений за качественным составом ДСВ в контексте воздействия на загрязнение природных вод (расположение створов наблюдений, периодичность отбора проб, методы обработки результатов анализов) должны осуществляться в соответствии с нормативными и методическими документами для получения репрезентативной и сопоставимой информации для прогнозирования ситуации и принятия управленческих решений.

Составленная структурная схема мониторинга качественного состава природных и дренажно-сбросных вод систематизирует основные этапы проведения наблюдений и оценки, являющиеся первостепенным звеном принятия решений при повторном использовании ДСВ или их сбросе в водоприемники.

Список использованных источников

1. Шабанов, В. В. Ведение мониторинга водных объектов в современных условиях [текст] / В.В. Шабанов, В.Н. Маркин / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева. – М, 2016. – 143 с.
2. Методические указания по контролю состояния дренажно-сбросных вод и учету стока и выноса растворенных веществ // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Департамент мелиорации. ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2015^{а)}. – 16 с.
3. Методические указания по учету и контролю качества сбросных вод / Министерство сельского хозяйства РФ. Департамент мелиорации. ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2015^{б)}. – 67 с.
4. РД 52.24.309-2011. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), ФГБУ «ГХИ». – Ростов-на-Дону, 2011. – 104 с.
5. РД 52.18.263-90. Охрана природы. Геосфера. Организация и порядок проведения наблюдений за содержанием остаточных количеств пестицидов, регуляторов роста растений и основных токсичных продуктов их разложения в объектах природной среды: утв. Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии 01.03.91 № 263: введ. в действие с 01.03.91. – М., 1991. – 75 с.
6. Попов, Н.С. Классификация методов контроля качества природных вод [текст] / Н.С. Попов, А.В. Святенко, Е.И. Киреев // Вопросы современной науки и практики: сборник научных трудов Университета им. В.И. Вернадского. - №3 (47). - 2013. – С. 245-261.
7. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), ФГБУ «ГХИ». – Ростов-на-Дону, 2002. [Электронный ресурс]. Режим доступа:
8. Якунина, И. В. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг: учебное пособие [текст] / И.В. Якунина, Н. С. Попов. – Тамбов: Изд-во Тамбовский гос. техн. ун-та, 2009. – 188 с.

УДК 631.6

ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.

Храбров М.Ю., Губин В.К., Колесова Н.Г., Кудрявцева Л.В.
ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Введение

Для большей части сельскохозяйственных угодий Нечернозёмной зоны России характерна неустойчивость в обеспечении влагой. В период весеннего снеготаяния или при продолжительном выпадении дождевых осадков поля и пастбища находятся в переувлажнённом состоянии. Весной избыточное увлажнение препятствует проведению посевных работ в оптимальные сроки, а летом затрудняет проведение работ по уходу за посевом. Многие культуры не переносят длительного затопления корнеобитаемого слоя почвы. Так, на зерновые культуры отрицательное действие оказывает затопление пахотного слоя более чем на

1 сутки, а для овощных и корнеплодов этот период не должен превышать 1,5 суток.

В летнее время на большей части Нечерноземья систематически отмечаются засушливые периоды, длящиеся по нескольку недель. В это время большинство сельскохозяйственных культур страдает от недостатка влаги, что приводит к снижению урожайности. В связи с этим на данной территории страны большой интерес представляет использование осушительно-увлажнительных систем, обеспечивающих отведение избыточной влаги и проведение дополнительного увлажнения корнеобитаемого слоя почвы при возникновении дефицита влажности.

Объект и методика проведения исследований

Объектом исследования в данной статье являются осушительно-увлажнительные системы, их конструкции, особенности применения в различных областях Нечернозёмной зоны страны, режимы эксплуатации и мониторинг состояния влажности корнеобитаемого слоя почвы с учётом применения осушительно-увлажнительной системы. Методика исследований включает оценку потребности в осушении, орошении или сочетании осушения и орошения, исходя из оценки влагообеспеченности рассматриваемого региона. Основными показателями такой оценки являются: годовая норма осадков, испаряемость, сумма эффективных температур, продолжительность вегетационного периода, индекс сухости, вероятность засушливых лет.

При исследовании используемых способов дополнительного орошения принимались во внимание особенности объектов исследования: климатические, почвенные, геоморфологические, гидрогеологические, хозяйственные, водохозяйственные, экологические.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Районирование Нечернозёмной зоны России по способам регулирования водно-воздушного режима почвы

Согласно мелиоративному районированию в Нечернозёмной зоне РФ выделено шесть подзон: А- полярно-тундровая; Б - северо-таёжная; В - средне – таёжная; Г –южно-таёжная; Д– лиственно-лесная и лесостепная, Е – Уральская горная подзона. Эти подзоны включают тридцать две провинции, которые в свою очередь делятся на сто шестьдесят районов.

Для применения разных способов регулирования водно-воздушного режима почвы определяющим фактором является соотношение осадков и испаряемости.

Для полярно-тундровой подзоны характерно существенное превышение количества выпадающих осадков над испаряемостью (550...650 мм против 250...300 мм). В этой подзоне для поддержания заданного уровня влажности почвы на осушенных участках применяют шлюзование.

Северо-таёжная подзона также характеризуется превышением количества

осадков над испаряемостью (600...700мм против 300...350 мм). Для этой подзоны характерна большая сумма активных температур до 1200⁰С и более длительный вегетационный период – до 90 суток. Главным направлением сельскохозяйственного производства является молочное животноводство. Соответственно основным направлением мелиорации здесь является отведение избытка влаги из почвенного слоя при регулировании его влажности шлюзованием дренажных коллекторов.

Для среднетаёжной подзоны характерно периодическое превышение осадков (600...750 мм) над испаряемостью (350...450 мм). Вероятность избыточно влажных лет составляет 30...40% при вероятности засушливых 10%. Сумма эффективных температур здесь достигает 1600 С⁰, а продолжительность вегетационного сезона 110 суток. Это позволяет выращивать такие культуры как лён, картофель, холодоустойчивые овощные, а также кормовые культуры. Основным приёмом мелиорации переувлажнённых земель здесь является отведение избыточной влаги как открытым, так и закрытым дренажом. На овощных севооборотах возможно двустороннее регулирование водного режима почв.

На южно-таёжную подзону приходится почти 35% Нечернозёмной зоны России. Она практически включает все области центральной части страны. В этой подзоне неустойчивого увлажнения индекс сухости составляет 0,8...1,0, а показатель увлажнения – 0,45...0,60. При сумме эффективных температур 1600...2200 С⁰ продолжительность вегетационного периода составляет 110...130 суток. Количество осадков составляет 650...750 мм при испаряемости 400...450 мм. Водный режим почвы - промывной с периодическим локальным переувлажнением и летним пересыханием верхнего полуметрового слоя почвы. В связи с этим, запасы продуктивной влаги в почве в начале вегетации по годам колеблются от 0,6 до 1,5. Соответственно годы могут быть как избыточно влажными (вероятность 20-30%), так и засушливыми (вероятность 10-20%). В соответствии с климатическими условиями здесь для получения высокой урожайности требуется применять как осушительно-оросительные системы, так и оросительные с использованием различных технологий и технических средств.

Лиственно-лесная и лесостепная зона занимает 28 млн. га или 10% общей площади Нечерноземья. Она включает Орловскую, Тульскую, большую часть Рязанской, юг Нижегородской области, Мордовской, Чувашской и Удмурдской республик, а также Пермского края и Свердловской области. Годовая норма осадков здесь составляет 550...700 мм при испаряемости 450...500 мм и сумме эффективных температур 2200...2400 С⁰ с продолжительностью вегетационного периода 130...150 суток. Для этой подзоны характерна недостаточная увлажненность с индексом сухости 0,9...1,2 и вероятностью засушливых лет 20...30%. В этих условиях обеспечение достижения высокой и устойчивой урожайности требует сочетания, как своевременного отведения избыточных внешних вод, так и дополнительного орошения в летний период. Осушительные системы здесь необходимо оборудовать оросительной сетью.

Уральская горная подзона включает приполярный, северный и средний Урал. На среднем Урале наиболее развито сельское хозяйство. Здесь при годовом

количестве осадков 600...800 мм и испаряемости 450...500 мм продолжительность вегетационного периода составляет 100...110 дней. Эта подзона пригодна для возделывания кормовых и овощных культур в пределах района среднего Урала с осушением низинных торфяников и дополнительным орошением в засушливые годы, а также с использованием систем двойного регулирования на участках овоще-картофельного севооборота.

Таким образом, для поддержания благоприятного уровня влажности почвы в течение всего периода вегетации использование осушительно-увлажнительного регулирования режима влажности является предпочтительным в четырёх подзонах, охватывающих более 40% территории Нечерноземной зоны России.

Районирование земель по способам орошения

За последние годы произошли существенные изменения в разработке способов орошения, конструкций гидромелиоративных систем, сочетания различных способов и видов мелиораций земель.

Все это выдвигает необходимость проведения районирования способов орошения с учетом природно-климатических, экономических и других факторов с целью сохранения земельных угодий, повышения плодородия почв, создания условий устойчивого развития отрасли и, на этой основе, значительного наращивания объёмов производства продукции при различных условиях ведения сельского хозяйства.

Выбор способов орошения зависит от ряда условий: климатических, почвенных, геоморфологических, гидрогеологических, биологических, хозяйственных, водохозяйственных, экологических.

Для каждой природно-климатической зоны должны быть приняты наиболее соответствующие их условиям способы орошения и техника полива, в том числе возможность сочетания различных способов путём создания систем, работающих в различных режимах, в соответствии с биологическими особенностями растений и с фазами их развития.

К климатическим факторам относятся увлажненность территории, испаряемость, скорость ветра, температура и влажность воздуха.

Увлажненность территории можно определить по коэффициенту увлажнения [1]:

$$K_{увл} = P / E_0 \quad (1)$$

где: ($K_{увл}$) – коэффициент увлажнения; P – сумма осадков за год, мм; E_0 – годовая испаряемость, мм.

При обосновании способов орошения основным критерием является коэффициент увлажнения, который характеризует почвенно-биоклиматическую область. В таблице 1 приведено районирование Европейской части РФ с учётом коэффициента увлажнения [2].

Таблица 1 - Районирование Европейской территории РФ по способам орошения

Способ орошения	Зона увлажнения						
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	Коэффициент увлажнения k_y						
	0,12-0,22	0,22-0,33	0,33-0,44	0,44-0,55	0,55-0,77	0,77-1,0	1,0-1,33
	Почвенно-климатическая область						
	Пустынная	Полупустынная	Сухостепная	Степная	Лесостепная	Лиственно-лесная	Южно-таёжная
Дождевание			+	+	+	+	+
Мелкодисперсное дождевание				+	+	+	+
Поверхностное орошение	+	+	+				
Внутрипочвенное орошение		+	+	+			
Капельное орошение		+	+	+			

Примечание: + - основное применение способа

Как видно, во всех областях возможно применение нескольких способов орошения. Особенно это относится к сухостепной и степной областям, где сосредоточены основные орошаемые земли в Европейской части РФ. Кроме того, в этих областях во многих случаях возможно применение комбинированных способов регулирования гидротермических режимов. Например, сочетание дождевания с мелкодисперсным дождеванием, дождевание с поливом по бороздам, капельного орошения с микро- или мелкодисперсным дождеванием.

Обоснование необходимости проведения мониторинга на осушительно-увлажнительных системах

На территории гумидной зоны России для формирования благоприятного водно-воздушного режима необходимо отведение избыточных поверхностных вод и поддержание грунтовых вод на уровне, исключающем возможность их отрицательного воздействия на аэрацию корнеобитаемого слоя почвы. Для отведения избыточных вод с поверхности поля используют различные способы. Наиболее распространённым приёмом является планировка участка с приданием заданного положительного уклона в сторону водоприёмника.

Требования к продолжительности времени отведения воды, скопившейся на поверхности участка, устанавливаются в зависимости от биологических особенностей возделываемой культуры, её способности выдерживать затопление. Так, например, задержание паводковых вод на участках, занятых многолетними травами, может длиться 10...15 суток, что позволяет обеспечить влагозарядку и оказать положительное влияние на урожайность трав.

Однако большинство культур не переносят даже кратковременного затопления корнеобитаемого слоя почвы. Зерновые культуры отрицательно реагируют на затопление пахотного слоя более 1 суток, а овощные и корнеплоды - 1,5 суток.

Мониторинг продолжительности затопления полей с учётом особенностей занимающих их культур можно осуществлять путём наблюдения с помощью беспилотных летательных аппаратов, оборудованных видеокамерами. Для этой цели могут быть использованы результаты авиационной или космической съёмки. Наблюдения целесообразно производить ежедневно от начала до окончания паводка. На основе результатов наблюдений создаётся компьютерная база данных, которая позволяет прогнозировать продолжительность затопления полей паводковыми водами и своевременно принимать меры по замедлению или ускорению их отведения.

Грунтовые воды оказывают определяющее влияние на водно-воздушный режим почвы в вегетационный период возделывания сельскохозяйственных культур. На переувлажнённых полях их уровень регулируется с помощью дренажа. Наиболее распространёнными являются следующие способы дренажа переувлажнённых почв: отведение избыточных вод дренажной системой, состоящей из каналов-дрен, выведенных в открытый коллектор; отведение избытка вод системой, включающей подземные гончарные или полимерные дрены, выведенные в открытый коллектор; отведение избыточных вод системой подземных дрен, выведенных в подземный трубчатый коллектор. На базе этих способов осушения участков формируется технология осушительно-увлажнительного регулирования водно-воздушного режима почвы.

Для создания благоприятного водного режима в почве на участках, осушаемых открытым и закрытым дренажом, решающую роль играет высота капиллярной каймы – капиллярно подпёртая влага. При выходе её на поверхность наблюдается нарушение водно-воздушного режима корнеобитаемого слоя почвы и, как следствие, подавление жизнедеятельности растений. Высота капиллярной каймы зависит от типа почв и варьирует от 0,5 м в песчаных почвах до 3...4 м в суглинистых почвах. Поэтому глубину дренирования осушаемых участков определяют как сумму высоты капиллярного поднятия и мощности слоя почвы, в котором расположена основная масса поглощающих корней растения (зона аэрации).

Этот показатель называется критической глубиной грунтовых вод и может быть определен по формуле [3]:

$$H_k = H_{\max} + h_{\text{кор}} \quad (2)$$

где: H_k - критическая глубина грунтовых вод, м;

H_{\max} – максимальная высота капиллярного поднятия, м;

$h_{\text{кор}}$ – мощность корнеобитаемого слоя, м.

Наряду с критической глубиной большое значение для определения оптимальной глубины уровня грунтовых вод имеет норма осушения. Норма осушения – режим уровней грунтовых вод, при которых обеспечивается достижение требуемой урожайности. Этот режим делится на предпосевной, посевной, осенне-летний и конец вегетации растений. Для успешного выполнения предпосевной обработки почвы грунтовые воды должны располагаться на глубине 50...60 см. На лугах и пастбищах в начале вегетации они могут находиться на глубине 25...30 см от поверхности поля. По мере роста растений норма осушения изменяется с учётом требований конкретной культуры. Для злаковых культур, имеющих мочковатую корневую систему, расположенную в пахотном горизонте почвы, она составляет 70...80 см. Для овощных культур, корневая система которых проникает на большую глубину, 80...90 см в первый период вегетации и 70... 90 см – к её концу.

Наиболее простым и отработанным способом регулирования влажности почвы на осушаемом участке является субиригация – искусственный подъём уровня грунтовых вод с заполнением дрен, из которых вода поступает в почву и увлажняет её. Этот способ реализуется путём шлюзования – перекрытия сбросного коллектора перемычками с подъёмом уровня грунтовых вод и прекращением дренажного стока. Из выше изложенного следует, что основным критерием, определяющим влагообеспеченность осушенных земель, является уровень грунтовых вод. Нижним пределом доступности грунтовых вод растениям является критический уровень их залегания, ниже которого грунтовые воды не оказывают существенного влияния на водопотребление растений.

Поэтому мониторинг уровня грунтовых вод следует производить с момента окончания стока паводковых вод до окончания вегетации возделываемой культуры. В период, предшествующий предпосевным и посевным работам, эти наблюдения позволяют определить возможность выезда сельскохозяйственной техники на поля.

При работе дренажных систем в режиме шлюзования процессы снижения уровня грунтовых вод обладают значительной инертностью и требуют упреждающих действий. Возможность регулирования уровня грунтовых вод с учётом потребностей растений обеспечивают системы двойного регулирования. Для оценки характера изменения уровня грунтовых вод целесообразно осуществлять ежесуточный контроль с помощью радиофицированного уровнемера, который передаёт информацию на компьютер центрального пульта.

При закономерном снижении уровня грунтовых вод более 0,05 м в сутки производят искусственное поддержание уровня грунтовых вод путём шлюзования. Применяют два типа шлюзования: предупредительное шлюзование, при котором задерживают часть вод весеннего половодья, и увлажнительное, при котором используют предварительно накопленную воду в прудах накопителях [4]. Для такого контроля уровня грунтовых вод следует использовать автоматически

радиофицированные датчики, размещаемые в колодцах, устраиваемых на коллекторах в нескольких местах по их длине. Ежесуточный сбор информации о динамике грунтовых вод позволит сформировать базу данных, на основе которых может приниматься решение о своевременном проведении предупредительного или увлажнительного шлюзования.

Следует отметить, что при возделывании яровых зерновых культур, посев которых приходится на май, периодически складывается ситуация, при которой даже при достаточно высоком уровне грунтовых вод требуется проведение полива с увлажнением верхнего слоя почвы на глубину 10...15 см. Проявление эффекта иссушения объясняется тем, что при подготовке к посеву почву неоднократно рыхлят, иссушая её, а также и разрушая систему капилляров в слое 10...15 см. Глубина сева для большинства культур составляет 4...6 см. При отсутствии осадков в течение 10...15 дней происходит иссушение верхнего слоя почвы до влажности, недостаточной для прорастания семян, что приводит к задержке появления всходов и неравномерности прорастания семян. В этих условиях перед посевом при снижении влажности почвы в верхнем слое почвы ниже 60 % НВ требуется проведение предпосевного полива. Если весенняя засуха приходится на послепосевной период, то для получения дружных всходов проводят предпосевной полив. Вегетационные поливы назначаются после достижения грунтовыми водами критического уровня, при котором капиллярная кайма отрывается от зоны расположения основной массы корней растений. При этом использование грунтовых вод растениями резко сокращается [5].

Для своевременного проведения сева и получения дружных всходов требуется проведение ежесуточного мониторинга температуры и влажности почвы в верхнем 10 см слое почвы в предпосевной период, а также в течение первого периода вегетации сельскохозяйственных культур.

Способ шлюзования может эффективно применяться только при наличии ряда благоприятных условий: близкого залегания водоупорного горизонта или грунтовых вод и хорошей влагопроницаемости почвы. На почвах с тяжёлым механическим составом шлюзование не обеспечивает достаточно быстрого и равномерного увлажнения корнеобитаемого слоя почвы. Здесь для поддержания влажности почвы на заданном уровне необходимо дополнительно использовать как традиционные способы орошения, а именно, дождевание, полив по бороздам, полив по кротовинам, так и новые технологии - капельное орошение или мелкодисперсное дождевание.

Определение элементов мониторинга факторов внешней среды для мелиоративных систем капельного орошения

На осушительно-увлажнительных системах в Нечерноземной зоне РФ орошение при выращивании овощных, садовых и кустарниковых культур может производиться с помощью систем капельного орошения, а культур сплошного сева – с помощью мелкодисперсного дождевания.

К элементам техники капельного орошения относят очаг увлажнения,

увлажненную площадь поверхности почвы, контур увлажнения, расход капельного микроводовыпуска, число и схему расположения точек водоподачи в очаге увлажнения, равномерность распределения оросительной воды по микроводовыпускам, схему расположения микроводовыпусков по орошаемой площади.

Расчетная зона увлажнения для фруктовых деревьев и плодовых кустарников определяется горизонтальной проекцией основной массы кроны и составляет 0,5 – 0,7 ширины междурядий. Расчетный слой увлажнения принимают в соответствии с агробиологическими показателями сельскохозяйственных культур и водно-физическими свойствами почвы в зависимости от расхода микроводовыпусков и продолжительности полива.

Основными факторами распределения влаги в почвенном профиле от точечного источника являются: b - ширина контура увлажнения; h - глубина насыщения почвы влагой; t - время распределения влаги в почве (время полива), q - расход водовыпуска:

$$b = f(h, t, q). \quad (3)$$

Особенностью увлажнения почвы является то, что распространение влаги в почвенном профиле происходит одновременно вниз (под действием гравитации и капиллярного переноса) и в стороны только за счет капиллярного переноса. Корневая система, в основном, не распространяется за пределы контура увлажнения. Определение основных параметров контура и времени полива имеет первостепенное значение для эффективного использования воды и получения при этом максимальной урожайности [6].

Мелкодисперсное дождевание - это способ орошения, представляющий собой дождевание мелко распыленной водой в целях создания оптимального микроклимата на посевах сельскохозяйственных культур. Мелкодисперсное дождевание в течение вегетационного периода создает благоприятные условия для произрастания сельскохозяйственных культур, способствует увеличению урожайности, а также устранению депрессии фотосинтеза и снижению расхода воды на транспирацию в жаркое время дня.

В качестве климатических показателей можно использовать статистические данные о количестве дней и количестве часов в течение дня с температурой выше критической для данной культуры в основные фазы ее развития, при этом оросительную норму можно определить по зависимости:

$$M = m_{\tau} \cdot \tau \cdot n_{\tau}, \quad (4)$$

где: M - оросительная норма, м³/га; m_{τ} - разовая норма полива, м³/га; τ , n_{τ} - соответственно количество дней и количество часов с температурой выше критической для данной культуры в основные фазы ее развития [7].

Параметры и элементы мониторинга, необходимые для измерений при выращивании сельскохозяйственных культур на системах капельного и мелкодисперсного дождевания

При капельном орошении необходимо измерение следующих параметров:

1. Определение влажности почвы осуществляется в створе увлажнения капельниц около учетных кустов (10...15 см от штамба дерева). Показания тензио-

метров передаются на пункт управления в течение вегетационного периода ежедневно. Кроме того, периодически проводится контрольное определение влажности почвы термостатно-весовым методом с отбором проб до полива и через сутки после полива по радиусу контура увлажнения послойно, через 10 см на глубину 1-2 метра в зависимости от возделываемой культуры.

2. Учет воды проводится расходомерами, установленными в начале распределительных трубопроводов и в голове системы. Контроль равномерности увлажнения участка осуществляется путем измерения расхода контрольных капельниц.

При мелкодисперсном дождевании инструментально определяют следующие метеопараметры:

1. Температуру приземного слоя воздуха;
2. Относительную влажность приземного слоя воздуха;
3. Температуру почвы в слое 0-10 см;
4. Скорость и направление ветра в приземном слое.

Показатели этих параметров измеряют и передают ежедневно с интервалом в 1 час в дневное время суток, когда температура воздуха превышает оптимальную для данной культуры.

Метеостанция позволяет контролировать параметры: направление и скорость ветра, температуру и относительную влажность воздуха, количество осадков. Отдельно доступны датчики для контроля следующих параметров: температуры и влажности почвы, освещенности, атмосферного давления.

Для измерения уровня грунтовых вод можно использовать интеллектуальные датчики со встроенными регистраторами данных для измерения температуры, уровня и диэлектрической проводимости среды.

Температуру листьев растений измеряют с помощью электротермометров, имеющих миниатюрные полупроводниковые датчики. Датчик должен быть также малоинерционным и быстро реагировать на изменения температуры. Датчики или прикладывают к поверхности растения, или «вживляют» в стебли, листья. Одновременно обязательно измеряют температуру окружающего воздуха (затенив датчик).

Определение влажности почвы наиболее эффективно можно проводить с помощью тензиометров. Это точный инструмент для измерения влажности почвы. Максимальное отклонение 1,6%. Показания тензиометра сигнализируют о необходимости проведения очередного полива, что позволяет реализовывать орошение в режиме реального времени.

Элементами конструкции тензиометра являются: микроперфорированный керамический наконечник, прозрачная пластиковая колба, наполненная водой, манометр с цветовой шкалой, уплотнители. Манометр измеряет давление в пределах от 0 до 600 hPa.

Манометр тензиометра оснащен цветовой шкалой для простой интерпретации показателей влажности почвы. Зеленая шкала показывает оптимальную влажность для большинства овощных культур для большинства почв, в том числе песчаных, суглинистых, глинистых; синяя шкала (0-80 hPa) показывает

«слишком влажно»; голубая шкала (80-100 hPa) - «почва сильно увлажнена»; зелено-оранжевый цвет (350-450 hPa) сигнализирует о недостатке влаги в почве; оранжевый цвет (450-500 hPa) показывает недостаток влаги; оранжево-красный (500-550 hPa) требует срочно произвести полив; красный цвет (550-600 hPa) констатирует засуху.

Учет воды производится счетчиками – водомерами, установленными в начале распределительных трубопроводов и голове системы.

Контроль поливной нормы осуществляется путем измерения расхода типичных капельниц и учета продолжительности полива. Измерение расхода капельниц проводится объемным способом.

Технология капельного орошения включает режим подачи воды в соответствии с водопотреблением культуры и техники полива. Режим водоподдачи зависит от нормы, сроков и продолжительности полива за оросительный период, зоны увлажнения, расхода и числа капельниц, схемы их расположения и водно-физических свойств почвы.

Поливную норму (m_{nt} /га) определяют по формуле:

$$m_{nt} = 100 Yh A_{nt} (w_{FC} - w_{PW}) \quad (5)$$

где: h – глубина расчетного слоя почвы, м;

Y – объемная масса почвы, t/m^3 ;

A_{nt} – площадь увлажнения, m^2 ;

w_{FC} – наименьшая влагоемкость от массы абсолютно сухой почвы, %

w_{PW} – предполивная влажность почвы, соответствующая нижней границе оптимального увлажнения почвы (в долях единицы).

Продолжительность водоподдачи (t):

$$t = m_{nt} / E_f * q_{dr} * n \quad (6)$$

где E_f – коэффициент использования воды, равный примерно 0,96-0,98;

q_{dr} – расход капельницы, л/с;

n – число капельниц на 1 га.

Площадь (m^2), увлажняемую капельницами, рассчитывают по формуле:

$$A_{dr} = n_{dr} A_i / (a * b), \quad (7)$$

где n_{dr} – число капельниц на одно растение;

A_i – площадь увлажнения от одного водовыпуска, m^2 ;

$(a * b)$ – схема посадки растений, m^2 [6].

Выводы: для обеспечения эффективного использования мелиорированных земель с использованием осушительно-увлажнительных систем необходимо формирование на основе мониторинга информационной базы данных о мероприятия проводимых на этих землях: природоохранных, мелиоративных, землеустроительных.

Список использованных источников

1. Иванов, Н. Н. Мировая карта испаряемости [текст] / Н. Н. Иванов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1957. – 40 с.

2. Губер, К. В. Технология создания гидромелиоративных систем на основе районирования земель по способам орошения [текст] / К. В. Губер // Мелиорация и окружающая среда:

юбилейный сборник научных трудов ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова. - Т.1. - М.: Изд-во ВНИИА, 2004. – С. 42 – 55.

3. Айдаров, И.П. Устойчивое развитие сельского хозяйства России. Монография [Текст] / И.П. Айдаров. – М.: МГУП, 2009. – 217 с.

4. Маслов, Б. С. Справочник по мелиорации [текст] / Б. С. Маслов, И. В. Минаев, К. В. Губер. - М.: Росагропромиздат, 1989. – 384 с.

5. Пыленок, П. И. Природоохранные мелиоративные режимы и технологии [текст] / П. И. Пыленок, И. В. Сидоров; под научной редакцией академика РАСХН, д.т.н. Б. С. Маслова. – М.: Россельхозакадемия, 2004. – 323 с.

6. Мелиорация водное хозяйство. 6. Орошение: Справочник /Под ред. Б. Б. Шумакова. - М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – 415 с.

7. Иванцова, Т. И. Способ мелкодисперсного дождевания однолетних сельскохозяйственных культур [текст] / Т. И. Иванцова, М. Ю. Храбров // Авторское свидетельство SU № 1732864; А1, М. кл. 5 А01G 25/02; заявитель и патентообладатель ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова; заявка № 4683583/15 от 24.04.1989; опублик. 15.05.1992. – Бюл. №18.

УДК 631.6

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ФРАКТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТА ОТ ЕГО ВЛАЖНОСТИ

Жогин И.М.¹, Камалов М.М.¹, Насонов А.Н.², Абдужаббаров Х.М.¹, Цветков И.В.¹

¹ФГБНУ «ВНИИГИМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия;

²ФБГОУ ВОРГАУ МСХА имени К.А.Тимирязева, г. Москва, Россия

В работе показан фрактальный характер среза супесчаного грунта. Определен спектр фрактальных размерностей, характерных для необработанного грунта. Определена зависимость фрактальной размерности грунта от его влажности.

Ключевые слова: СУПЕСЧАНЫЙ ГРУНТ, ВЛАЖНОСТЬ, ФРАКТАЛЬНАЯ РАЗМЕРНОСТЬ.

Идея фрактального строения грунтов различного типа развивается достаточно давно. Структуру грунта можно рассматривать как совокупность различных по величине агрегатов. О фрактальной структуре полостей и трещин в неоднородных телах написано достаточное большое количество работ [1, 2]. Фрактальные модели активно используются, в частности, при моделировании фильтрации различных жидкостей через грунт [3]. При механической обработке грунта происходит изменение его структуры. Можно предположить, что при этом изменятся его фрактальные, структурные характеристики.

Как правило, степень крошения, рыхления, перемешивания и уплотнения почвы определяются физическими и технологическими свойствами (связность, пластичность, липкость, физическая спелость), которые зависят от конструкций используемых машин и орудий, времени проведения обработки, рельефа и засо-

ренности полей, скорости обработки. В работах [4, 5] отмечается, что суглинистые и глинистые почвы под действием тяжелых машин и тракторов резко снижают агрофизические и водно-физические свойства. Подпахотные слои таких почв имеют высокую плотность, что вызывает переувлажнение пахотного слоя в предпосевной период и не позволяет растениям использовать запасы влаги и питательных веществ из нижних слоев почвы в период вегетации растений.

Цели и методы исследования

Целью данной работы является изучение фрактальных свойств грунта для последующей оценки эффективности и качества его рыхления.

Эксперименты проводились в грунтовом лотке Лаборатории мелиоративных машин кафедры машин и оборудования природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях РГАУ МСХА имени К.А.Тимирязева. В ходе опытов использовался супесчаный грунт с исходной относительной влажностью около 10%. Серии опытов проводились последовательно, в течение достаточно короткого времени для того, чтобы грунт существенно не изменял влажность. В процессе подготовки грунт уплотнялся и доувлажнялся различными порциями воды. Затем заточенным шпателем выполнялся срез грунта, и производилось его фотографирование. Для измерения влажности отбиралась проба грунта около 50 грамм, взвешивалась и высушивалась. После высушивания проба повторно взвешивалась, и по формуле (1) [5] определялась влажность грунта:

$$W_g = \frac{m_{\text{влажн}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

где: W_g – влажность грунта %, $m_{\text{влажн}}$ – масса влажного грунта, $m_{\text{сух}}$ – масса высушенного грунта.

Возможности использования фрактальных параметров для анализа структуры грунта определялись по фотографиям срезов подготовленного, необработанного грунта. В процессе исследований было выполнено 10 срезов и оценена фрактальная размерность на различных участках по их ширине и глубине.

Фотографии срезов грунта выполнялись при высоком разрешении в формате bmp. Данный вид формата использовался в силу того, что наиболее распространенный формат jpeg вносит в рисунок небольшие структурные искажения при его сжатии. Снимки приводились к черно-белому формату с разрешением в 1 бит. После чего производилась измерение фрактальной размерности интересующих участков изображения.

Определение фрактальной размерности производилось при помощи программы Gwyddion (интерфейс рис.1) - модульной программы анализа данных, изначально предназначенной для обработки данных Сканирующей Зондовой Микроскопии (СЗМ) [6]. Программа предназначена для анализа полей высот, полученных различными техниками сканирующей зондовой микроскопии (АСМ, МСМ, СТМ, СБОМ), но в общем случае её можно использовать для анализа любых полей высот или изображений. Gwyddion является свободным программным обеспечением с открытым исходным кодом, выпущенным под лицензией GNU General Public License (GNU GPL).

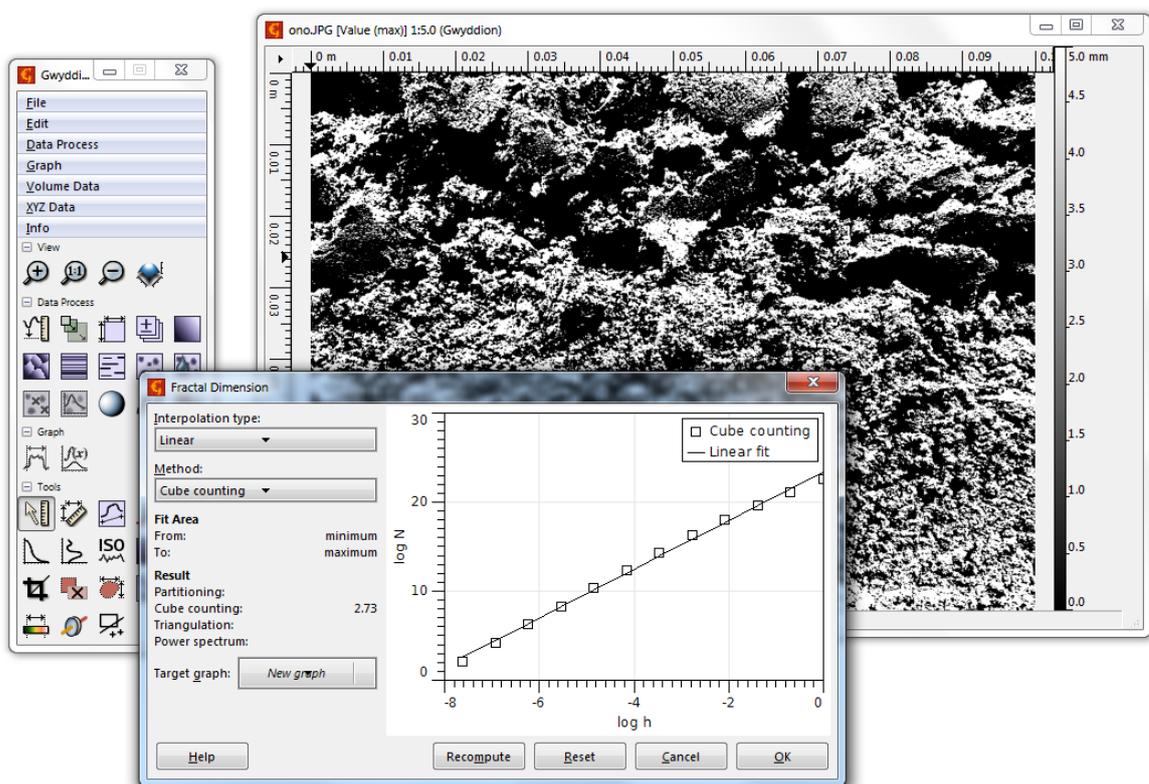


Рисунок 1 - Интерфейс программы Gwyddion

Программа Gwyddion может обрабатывать любые виды изображений и проводить их анализ. Одним из инструментов статистической обработки изображений в данной программе является Fractal Dimension – функция программы по определению фрактальной размерности. Фрактальная размерность в данном случае определена классическим клеточным методом. Кроме того, программа обладает возможностями трехмерной визуализации изображения, что позволяет лучше представить характер среза грунта.

Для выделения структур среза грунта использовался инструмент обработки изображений Shade data (Шейдинг данных), который позволяет выделять однородные графические образования на снимках. Примеры изображений среза грунта (А) и его шейдерного представления (В) представлены на рисунке 2. Такая обработка данных позволяет более точно отобразить структуру снимка.

Результаты и их обсуждение

В результате получены характерные фотографии изображений срезов и установлены значения фрактальных размерностей супесчаного грунта (табл.1). Коридор значений фрактальных размерностей по срезам необработанного грунта составил не более 5 – 7% для различных участков среза и 5 – 10% - для участков разных срезов. Вместе с тем необходимо отметить изменение фрактальной размерности по высоте среза грунта. В верхних слоях ее значения были почти всегда несколько выше, что можно объяснить большей усадкой нижних слоев при послойном уплотнении грунта.



А



В

Рисунок 2 - Структура поверхности среза грунта до (А) и после (В) шейдерной обработки

Таблица 1 - Участки среза необработанного грунта и их фрактальные размерности

	
<p>$D = 1,56 - 1,62$</p>	<p>$D = 1,54 - 1,60$</p>
	
<p>$D = 1,48 - 1,63$</p>	<p>$D = 1,48 - 1,59$</p>

По результатам исследований получена зависимость фрактальной размерности от влажности необработанного грунта, которая описывается регрессионным квадратным уравнением (рис. 3). Анализ показывает, что при повышении влажности супесчаного грунта от 5-7% до 13-15% фрактальная размерность практически линейно возрастает и на этом участке наблюдается положительное влияние воды на организацию самоподобных структур в грунте. При повышенной влажности более 18% фрактальная размерность снижается и на этом участке излишняя вода приводит к гомогенизации грунта.

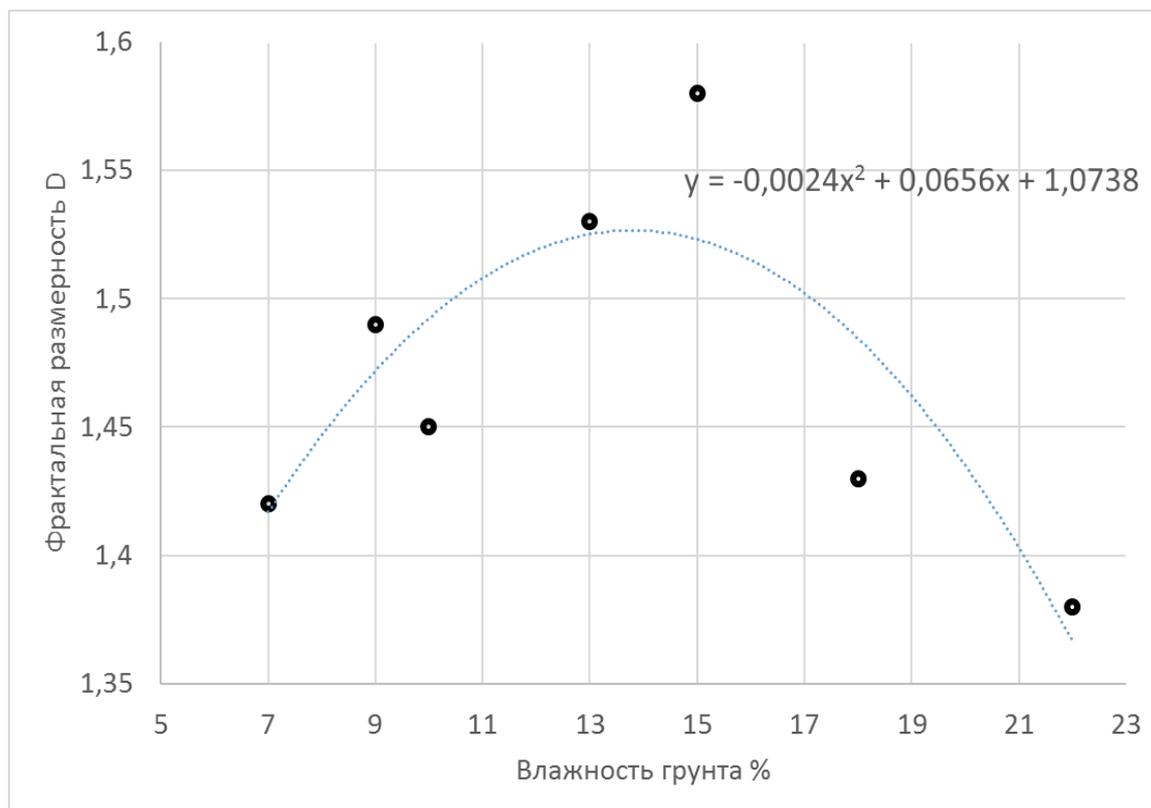


Рисунок 3 - Распределение фрактальной размерности в зависимости от влажности грунта

Выводы

1. В результате установлено, что исследуемый супесный грунт имеет однородную самоподобную структуру и хорошо моделируется фрактальными множествами, причем, по нашей оценке, погрешность такого моделирования составляет менее 10%. Фрактальная размерность срезов необработанного грунта составила 1,48 – 1,60, что говорит о фрактально-стохастичной его структуре.

2. Влажность грунта оказывает существенное влияние на его фрактальные показатели, которые изменяются в достаточно широком диапазоне – около 20%. Максимальная фрактальная размерность, и, соответственно, наиболее развитая структура супесчаного грунта наблюдается при влажностях 3–15%.

Список использованных источников

1. Панов А.И. Почвообрабатывающие машины для борьбы с ветровой и водной эрозией почвы // Энциклопедия «Машиностроение», т. IV-16, Сельскохозяйственные машины и оборудование. - М.: Машиностроение, 1998, с. 155-159.
2. Копылов В.Н. Космический мониторинг окружающей среды: монография. – Ханты-Мансийск: Полиграфист, 2008. – 216 с.
3. Адлер Ю.П. и др. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
4. Лисин В.С., Жилин Г.В., Балашов СМ. Рыхлители для грунтов тяжелого механического состава // Гидротехника и мелиорация, 1987, №3, с. 58-62.
5. Пупонин А.И. Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны. - М.: Колос, 1984, с. 70-76.
6. Сайт проекта Gwyddion <http://gwyddion.net> Доступ 28.05.2017

7. Цветков И.В., Насонов А.Н., Макаров А.А., Жогин И.М., Абдужаббаров Х.М., Камалов М.М., Леонтьев Ю.П. Оценка эффективности рыхления грунта методом фрактального анализа//Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК Материалы международной научно-практической конференции. ВНИИГМ, Москва, 2017. С. 379-383.

УДК 627.841

РАЗРАБОТКА НОВЫХ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА В ВОДОПРОВОДЯЩЕЙ СЕТИ И ЭЛЕМЕНТАХ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Щербаков А.О., Вербицкий В.С., Кушер А.М., Талызов А.А.
ФБГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Введение

Для достижения эффективного орошения, улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель необходима автоматизация насосных станций, водовыпускных сооружений, автоматизация управления регулированием и распределением стока по оросительно-обводнительным трактам. Получение информации о состоянии объектов регулирования и передача команд управления должна осуществляться с использованием современных средств передачи данных. Система должна состоять из модулей накопления и подготовки данных, модулей математического моделирования и модуля отображения расчетных рекомендаций по управлению системой. Надёжная эксплуатация гидромелиоративных систем невозможна также без регулирования поступления твёрдого стока как при водозаборе из рек – источников орошения в каналы, так и в системе самих каналов оросительной сети с помощью отстойников. Большое значение имеет и правильность выбора гидрометрических устройств и достоверность их расходной характеристики, являющейся залогом точности измерения расхода и стока в каналах водохозяйственных систем и экологически безопасного водопользования.

Цель работы – разработка новых способов регулирования жидкого и твёрдого стока, направленных на совершенствование управления мелиоративными системами.

Задачи исследований

1. Применить программно-аналитический комплекс ГИС-гидравлика, разрабатываемый в отделе с 2015 года в рамках тематики НИР, обеспечивающий обмен данными между ГИС мелиоративной системы и программами математического моделирования для регулирования подачи воды в каналы ООС Нижней Волги.

2. Разработать новые схемы регулирования твёрдого стока при различных видах водозабора. Усовершенствовать методы расчета движения и осаждения наносов различных фракций.

3. Разработать алгоритмы и программные модули расчета гидрометрических конструкций для открытых каналов гидромелиоративных систем, определить достоверность расчетов путем сопоставления с данными теоретических и экспериментальных исследований.

Состав работ и методика исследований

- исследование методов регулирования стока, гидравлических процессов в гидромелиоративных системах и поиск возможностей оптимизации режимов их работы (на примере одной реально существующей оросительной системы);

- компьютерное математическое моделирование гидравлических процессов, происходящих в каналах гидромелиоративной системы, оснащенной элементами регулирования;

- разработка новых схем регулирования твердого стока на основе послойного деления взвесенесущего потока при заборе воды из водоисточника в магистральный канал ГМС и возврате воды в водоприемник;

- усовершенствование теоретических положений для расчета движения и осаждения наносов различных фракций с учетом современных представлений о гидравлике открытых взвесенесущих потоков;

- разработка алгоритмов и программных модулей для численного расчета (на основе методов вычислительной гидродинамики) ряда распространенных за рубежом гидротехнических конструкций, включая лотки Паршалла, Монтана и лотки с укороченной горловиной;

- оценка достоверности расчетов путем сопоставления с данными теоретических и экспериментальных исследований.

Методика исследований:

В процессе исследований проведен анализ литературных источников, отечественного и зарубежного опыта в рассматриваемой области, обработаны данные экспериментальных исследований на физических моделях различных авторов. Для решения поставленных задач использованы методы системного анализа и современные компьютерные технологии (ГИС-инструментарий, гидродинамические модели, 3-D визуализация). Достоверность результатов исследований проверена сопоставлением с экспериментальными данными.

Основные результаты

Раздел 1

В ходе выполнения работ по программе 2017 года разрабатывались новые методы регулирования стока в водопроводящей сети и элементах гидромелиоративных систем [1]. Недостаточно высокий уровень водоучета и не оптимальность управления водораспределением на оросительных системах (ОС) приводят к повышенным материальным затратам при их эксплуатации, и могут служить причиной перебоев подачи воды. Для решения данной проблемы предлагается создать новые методы регулирования стока, основанные на компьютерном математическом моделировании и использовании географических информационных систем (ГИС) для обработки и визуализации данных [2,3,4]. Создаваемые методы позволят улучшить эффективность функционирования гидромелиоративных систем за счет выбора наиболее оптимального режима работы насосных станций и регулирующих сооружений.

В рамках выполнения НИР проведено исследование возможностей регулирования стока на примере Лиманской оросительно-обводнительной системы (ООС), расположенной в Астраханской области. Для определения горизонта

воды в верхнем бьефе главной насосной станции было произведено компьютерное гидравлическое моделирование для различных расходов воды. Построена зависимость $Q=F(h)$ для начального створа канала 14 водный тракт. Также были исследованы возможности накопления воды в водохранилищах, входящих в состав Лиманской оросительно-обводнительной системы. При этом применялись средства ГИС и разработанная ранее цифровая модель рельефа, было выполнено моделирование работы системы с использованием имеющихся и потенциальных возможностей для регулирования, сделаны выводы об эффективности данной технологии.

Предлагаемые способы регулирования стока в водопроводящей сети и элементах гидромелиоративных систем могут найти практическое применение при условии заинтересованности в их внедрении организациями, отвечающими за функционирование данных систем. Данные, полученные в результате исследования различных гидравлических режимов эксплуатации каналов и сооружений Лиманской ООС, могут быть использованы при автоматизации управления данной ООС, а также при выполнении предстоящей реконструкции ее элементов.

Выполнен обзор современного программного обеспечения в области диспетчерского управления и сбора данных. Для решения задач регулирования стока в водопроводящей сети и элементах гидромелиоративных систем предложен программный пакет SCADA.

Раздел 2

Разработана принципиальная схема регулирования твёрдого стока с применением прирусловых отстойников нового поколения с механизированной очисткой от наносных отложений и с регулируемой длиной осаждения разнофракционных наносов [5]. До настоящего времени конструкции таких отстойников и методы их расчёта не разработаны. Основной принцип работы таких отстойников заключается в осаждении не транспортируемых в магистральном канале фракций наносов, для каждой из которых устанавливается своя длина осаждения, которая обеспечивается регулированием рабочей длины многосекционного отстойника. Особенно это важно при промывке верхнего бьефа наносоаккумулирующих водохранилищ с целью недопущения в реку ниже водозаборного узла не транспортируемых в реку фракций наносов. Используемое на практике двухэтапное осветление взвесенесущего потока в реке (в створе водозабора и в подводящем канале-отстойнике при бесплотинном водозаборе, в верхнем бьефе водозаборной плотины и в отстойниках с гидравлической промывкой отложений) не предохраняет мелиоративную сеть от заиления или размыва.

Для обеспечения надёжной работы всего комплекса ГТС ГМС предложена третья ступень осветления взвесенесущего потока путём его послойного разделения по глубине перед входом в магистральный канал. Слои потока (в основном придонные), содержащие не транспортируемые по магистральному каналу фракции наносов, направляются в многокамерный прирусловой отстойник с механизированной очисткой отложений и регулируемой длиной осаждения разнофракционных наносов.

Представленная схема регулирования жидкого и твёрдого стока рекомендуется к применению на гидромелиоративных объектах при водозаборе из рек как на горно-предгорных, так на равнинных их участках.

Разработки будут способствовать снижению интенсивности поступления твёрдого вещества в водные объекты и защите водопроводящей сети оросительной от заиления и неблагоприятных деформаций.

На основе обработки и анализа многочисленных физических экспериментов с использованием разработанных во ВНИИГиМ теоретических положений [6,7] установлено, что деформации русел в разнородных достаточно крупнозернистых песчаных грунтах при образовании самоотмостки принципиальным образом отличаются от русловых деформаций в однородных песках. Предложен алгоритм расчета деформации русла в песчано-гравийных грунтах. Диаметр частиц самоотмостки можно определять по формуле А.В. Магомедовой. Для расчета времени протекания деформаций предлагается использовать формулу для расхода донных наносов, полученную на основании вероятностной модели К.И. Россинского. При отсыпке защитного слоя геомембраны можно использовать гравий или щебень не на всю глубину отсыпки. Достаточно покрытия защитного слоя из песка верхним слоем из гравия толщиной 2-3 диаметра частиц.

Раздел 3

Усовершенствована общая схема обработки данных, обеспечивающая автоматизацию процессов численного расчета расходной характеристики гидрометрических сооружений и с учетом запланированной на 2018 г. модернизации алгоритма гидравлического расчета, направленной на повышение достоверности результатов вычислений.

Разработано новое, более совершенное программное обеспечение для генерации структурированной расчетной сетки, обеспечивающее расчет гидрометрических конструкций с геометрией повышенной сложности.

Разработан новый алгоритм и программные модули управления гидравлическим расчетом, предназначенные для повышения достоверности результатов вычислений за счет чередования краевых условий в течение цикла гидравлического расчета.

Разработаны новые алгоритмы и программные модули для численного расчета лотков Паршалла, Монтана и лотков без горловины. По результатам тестирования расходной характеристики лотков Паршалла и лотков Монтана точность расчета составляет $2\div 5\%$, что соответствует декларируемой погрешности эмпирических зависимостей.

Предложена новая конструкция гидрометрического лотка без горловины, отличающаяся параболической формой сопряжения входной и выходной секций. По результатам моделирования в режиме свободного истечения и при частичном подтоплении со стороны нижнего бьефа предлагаемая конструкция позволяет повысить коэффициент предельного затопления по сравнению с прямоугольным лотком на $35\div 40\%$.

Проведены исследования зависимости точности определения расхода от дискретизации расчетной области. По результатам сопоставления с известными экспериментальными данными и стандартными аналитическими зависимостями точность расчета расходной характеристики составляет 2-5% в зависимости от дискретизации и типа гидрометрического сооружения, что позволяет задавать параметры расчета в зависимости от назначения конструкции (в целях коммерческого или технологического водоучета).

Новизна заключается в разработке новых алгоритмов и программ для автоматизированного программного комплекса, предназначенного для расчета гидрометрических сооружений в открытых руслах.

Разработанные программные модули позволят создать автоматизированную систему для выбора типа и расчета конструкции гидрометрических сооружений для конкретных условий эксплуатации, повысить точность и расширить диапазон измерений существующих гидрометрических конструкций, разработать и углубленно исследовать новые средства водоучета.

Результаты проведенных исследований позволят разработать проекты оснащения мелиоративных систем средствами водоучета для открытых каналов. Широкое внедрение гидрометрических сооружений для организации контроля за соблюдением норм водопользования предприятиями АПК и технических требований систем орошения позволят повысить урожайность с/х культур и получить экономию потребляемой воды.

Заключение

Выполненные работы направлены на повышение эксплуатационной надёжности гидротехнических сооружений и экологической безопасности водных объектов и орошаемых территорий. Разработки предназначены в первую очередь для мелиоративных, строительных и водохозяйственных организаций. Потенциальными потребителями технических разработок являются проектные институты, эксплуатационные организации мелиоративных и водохозяйственных систем, НИИ в области гидротехники и мелиорации, работники руководящих органов сельского хозяйства, фирм и корпораций.

Список использованных источников

1. А. О. Щербаков, А. А. Талызов. Численное моделирование гидромелиоративных систем на примере Лиманской оросительно-обводнительной системы. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 1(25), 2017 г., С.190–206.
2. Щербаков, А.О. Совершенствование управления каскадом волжских водохранилищ на основе гидродинамических моделей и ГИС-технологий / А.О. Щербаков, А.А. Талызов, И.С. Румянцев, С.И. Пручкин, А.Л. Бубер // Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – № 2. – С. 8-12.
3. Щербаков А.О., Талызов А.А., Румянцев И.С., Нестманн Ф., Кромер Р., Исмайылов Г.Х., Ермаков Г.Г. ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КАСКАДА ВОЛЖСКО-КАМСКИХ ГИДРОУЗЛОВ. Мелиорация и водное хозяйство. 2006. № 5. С. 15-19.

4. Щербаков А.О., Талызов А.А., Головинов Е.Э., Ермаков Г.Г., Кромер Р. РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА СЛИЯНИЯ РЕК МОСКВЫ И ОКИ. Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 5. С. 42-44.

5. Щербаков А.О. Разработка отстойников нового типа для регулирования твердого стока в каналах оросительных систем //Пути повышения эффективности орошаемого земледелия, Научно-практический журнал, 2017. – №1. – С.149-154

6. Вербицкий, В.С. Кинетическая модель движения твердых частиц в придонных турбулентных потоках с малой мутностью / Вербицкий В.С.// Водные ресурсы. – 1974. –№3. – С.75-90.

7. Вербицкий В.С., Ходзинская А.Г. УЧЕТ ФОРМ ДВИЖЕНИЯ НАНОСОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ РУСЛОВЫХ ПОТОКОВ. Гидротехническое строительство. 2005. № 8. С. 46-50.

8. Кушер А.М. Гидрометрические лотки для каналов водохозяйственных систем. Материалы Международного научного форума «Проблемы управления водными и земельными ресурсами 2015 г.». Часть 1, М., издательство РГАУ-МСХА, 2016, с. 105-115.

9. Кушер А.М. «Гидрометрические лотки для оросительных каналов». Природообустройство, 2016, N5.

УДК 631.16:658.155:332.2

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Юрченко И.Ф.

ФБГНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

Повышение эффективности управленческих решений мелиоративной деятельности в значительной мере обусловлено трансформацией действующей системы информационного обеспечения лица, принимающего решения. В составе исследований обоснована действенность автоматизированных систем информационной поддержки решений по технической эксплуатации оросительных систем. Разработаны требования к функциональным возможностям компьютерной информационной системы, реализующей поддержку решений по оценке состояния объектов мелиоративного водохозяйственного комплекса, планированию мероприятий технической эксплуатации и распределению инвестиций в сохранение и развитие мелиоративного фонда по результатам многовариантного имитационного моделирования.

Введение

Перевод сельского хозяйства на путь устойчивого развития при обязательном выполнении необходимых экологических ограничений на использование агроландшафтов, что особенно важно в условиях происходящих изменений климата, требует коренного изменения экономической и инвестиционной политики в сфере развития мелиоративного водохозяйственного комплекса. Последняя должна базироваться на своевременной, полной и достоверной информации о текущем состоянии и перспективах становления мелиоративного фонда в целом по Российской Федерации, по субъектам Российской Федерации и каждой отдельно

взятой мелиоративной системе. Указанное требование из-за меняющихся условий работы с информацией приводит к необходимости трансформации традиционных операций принятия управленческих решений.

Отсутствие и/или дефицит необходимой информации - основополагающая причина низкого качества управленческих решений [1-5]. Вместе с тем увеличение объема информации, необходимой лицу, принимающему решение (ЛПР), в соответствии с часто меняющимися требованиями к объекту управления и условиями хозяйствования, существенно осложняет деятельность последнего, что также не способствует ее эффективности [1, 6, 7].

В мировой практике и в практике наиболее продвинутых секторов экономики Российской Федерации общепринятым мероприятием совершенствования информационных процессов управления является автоматизация на основе применения информационных технологий /систем для принятия управленческих решений [8-12]. Использование компьютерных информационных технологий кардинально меняет организацию управления мелиоративной деятельностью из-за привлечения моделирования и количественных методов оценки принимаемых решений на изменение природных и социально экономических условий сельскохозяйственного производства.

В этой связи разработка согласно программе и календарному плану НИР института на выполнение в 2017 г. этапа исследований по тематике ФАНО требований к информационному обеспечению решений по планированию мероприятий технической эксплуатации, базирующейся на использовании системы поддержки принятия решений (СППР), безусловно, актуальна.

Методы исследования. Формирование требований к функциональным возможностям компьютерной системы поддержки решений планирования мероприятий технической эксплуатации оросительных систем нового поколения выполнялась с учетом изучения, анализа и синтеза действующих теоретических подходов, научно обоснованных рекомендаций и существующего опыта создания и применения информационных технологий управления, представленных в литературных, фондовых и нормативно-правовых материалах по указанным вопросам как для сферы мелиорации, так и других областей экономики. Исследования базируются также на результатах НИР в области информатизации мелиоративной деятельности, выполненных ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» за период, предшествующий характеризуемым исследованиям [13-14].

Результаты и обсуждение исследований. Цель исследований - повышение уровня информационной и технологической поддержки планирования мероприятий технической эксплуатации мелиоративного водохозяйственного комплекса путем автоматизации управленческой деятельности, обеспечивающей оптимальный результат за счет многовариантной оценки и учета прогнозируемых последствий принимаемых решений и снижения непродуктивных затрат ограниченного бюджетного финансирования.

Достижение указанной цели потребовало решения следующих задач формирования требований к методическому и технологическому обеспечению информационных систем управления (ИСУ):

анализа сложившихся направлений в области совершенствования автоматизации процессов управления и оценки перспектив дальнейшего развития информационных технологий управления;

создания системы диагностических параметров и ключевых показателей технического состояния оросительной системы (ОС);

определения структуры и состава компьютерной базы данных и моделей ИСУ;

установления показателей и параметров моделей, алгоритмов и процедур мониторинга технического состояния ОС и определения потребности в мероприятиях технической эксплуатации;

разработки моделей оптимизации распределения выделяемых инвестиций; выбора процедур технологической поддержки принятия решений, сводящих к минимуму требования к компьютерной грамотности ЛПР;

описания операций «дружественного» интерфейса СППР в процедурах ввода, хранения, обработки информации и подготовки выходных отчетов.

В составе СППР необходимы технологии, позволяющие: осуществлять сбор/регистрацию, хранение и анализ (мониторинг) диагностических параметров и ключевых показателей технического состояния, устанавливать потребность ОС в планово – предупредительных мероприятиях, оптимизировать управленческое решение по распределению ограниченных инвестиций, выделенных на эти цели, автоматизировать подготовку выходных отчетов.

Основное направление автоматизации должно заключаться не в поиске способов использования компьютера, а в выявлении сути управляемой системы, в применении новых способов управления, адекватных производственным процессам и организационной структуре сферы мелиорации, способствующих повышению корпоративной культуры предприятия.

Разработка системы диагностических параметров технического состояния ОС осуществлялась в соответствии:

с принципом доступности и возможности получения информации пользователем, способствующим жизненности ИСУ;

релевантности, которая обеспечивает соответствие между желаемой и действительно получаемой информацией от диагностического параметра, что сокращает их количество;

технологичности процедур сбора информации, решающей проблему передачи исходных данных в базу данных компьютерной системы управления.

Выбор эффективного варианта распределения ограниченных инвестиций предлагается выполнять по результатам имитационного моделирования, реализующего по максимуму, в сравнении с оптимизационными моделями, знания, опыт и предпочтения ЛПР при формировании и анализе вариантов решений, отличающихся составом объектов и структурой возможных мероприятий технической эксплуатации МС. Это позволяет исключить недостатки сугубо формализованного подхода к выбору оптимального варианта в задачах оптимизационного моделирования, акцентируя внимание ЛПР на содержательных аспектах резуль-

тата. Общеизвестно, что варианты решения оптимизационной задачи, несущественно отличающиеся по формальному признаку - количественному значению критерия оптимальности, могут иметь далеко не идентичные структуры параметров, что приводит к значительно разнящимся последствиям реализации принятого решения, лучшие из которых не всегда соответствуют оптимальному варианту.

Разработанные критерии оптимизации характеризуются простотой и доступностью понимания их содержательной стороны; новизной и оригинальностью структуры; наличием и возможностью получения исходных данных для формирования количественных значений; ориентацией на экспресс – методы оценки, способствующие росту востребованности информационных систем управления в практической деятельности.

Трудности, связанные с поиском и сбором открытой и достоверной исходной информации для ИСУ, преодолеваются заимствованием данных из базы паспортов объектов мелиорации. Паспорт ОС разработан по заданию Департамента мелиорации Минсельхоза России, а база паспортных данных объектов федеральной формы собственности используется для оценки технического состояния и стоимости фондов мелиоративного водохозяйственного комплекса, выполняемых управленцами в настоящее время по традиционным операциям принятия решений.

Функциональная структура программного комплекса системы информационной поддержки решений по планированию операций технической эксплуатации ОС приведена на рисунке 1.

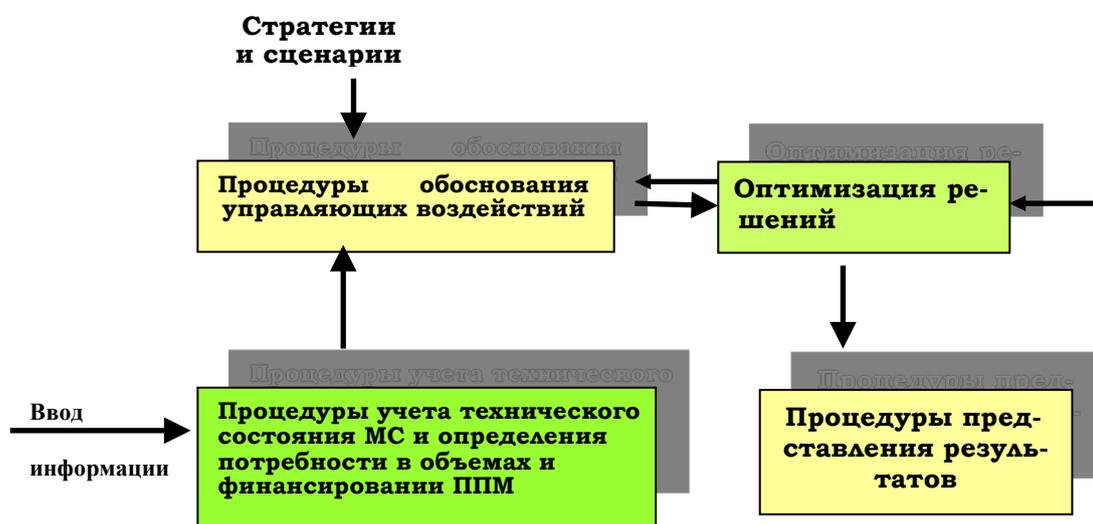


Рисунок 1 - Структура программного комплекса для принятия управленческих решений по обеспечению надежности мелиоративных систем

Программный комплекс информационной технологии ведения мониторинга должен позволять на основе современных информационно-коммуникационных технологий:

- создавать макеты паспортов ОС;

- формировать базу унифицированных паспортов и приложений к паспортам мелиоративных систем и управлять базой паспортов ОС с выдачей аналитических отчетов;

- обрабатывать в автоматизированном режиме информацию об основных элементах ОС и их компонентах – водохранилищах, гидроузлах, плотинах, водозаборах, каналах, трубопроводах, насосных станциях (всего порядка 40000 элементов). Приложения к паспортам ОС содержат также информацию о состоянии каждой компоненты ОС (износ, потребность в реконструкции, ремонте), об обслуживаемых площадях и их использовании;

- импортировать информацию базы паспортов мелиоративных систем, и информации приложений к паспортам в базу технологии для назначения мероприятий технической эксплуатации;

- обновлять паспортные данные в соответствии с планируемыми изменениями диагностических показателей состояния ОС.

Обоснование управляющих воздействий повышения надежности и безопасности мелиоративного фонда обеспечивается прикладной компьютерной программой, осуществляющей также:

автоматизацию операций ввода, хранения, обработки и предоставления пользователю информации, необходимой для технической диагностики ОС и их надежности, в удобной и привычной для пользователя форме;

техническую диагностику ОС по показателям надежности и безопасности функционирования и обоснование необходимых операций повышения работоспособности ОС (капитальный ремонт, восстановление, реконструкция);

классификацию, обобщение и анализ сведений и знаний о необходимых планово – предупредительных мероприятиях повышения работоспособности объектов мелиоративного фонда.

Решение о потребности ОС в операциях технической эксплуатации принимается по результатам оценки надежности и безопасности функционирования мелиоративных систем по показателям:

- соотношения объемов назначаемой водоподачи (водоотведения) брутто (P_0) с условно-нормативным значением, %;

- наблюдаемого коэффициента использования оросительной воды (фкиов) с условно-нормативным, %.

Критерии назначения операций технической эксплуатации в соответствии с классификационными признаками - капитальный ремонт, восстановление, реконструкция, представленные численными значениями вышеуказанных показателей, формируются ЛПР по экспертным оценкам и собственным предпочтениям с учетом социально эколого-экономических требований к сохранению и воспроизводству природно - ресурсного потенциала агроландшафта.

Оптимизация распределения ограниченных инвестиций может выполняться на федеральном уровне, при определении финансирования мероприятий технической эксплуатации федеральными государственными учреждениями по мелиорации земель (ФГБНУ), и - региональном при распределении средств ФГБНУ по конкретным мелиоративным системам.

Распределение инвестиций между субъектами федерации предлагается выполнять пропорционально специально введенному критерию - «ценности j бюджетополучателя (субъекта федерации)» $ЦБ_j$, численные значения которого зависят от оценок значимости формирующих его показателей.

В качестве показателей «ценности бюджетополучателя» выбраны: мелиорируемая площадь (S_j); балансовая стоимость мелиоративных систем региона (B_j); показатель технического состояния мелиоративных фондов, находящихся в федеральной собственности (T_j). Оценки значимости показателей a_{ij} определяются по алгоритмам:

$$a_{1j} = S_j / \sum_{j=1}^J S_j; \quad S_j = \sum_{n=1}^N S_{nj}; \quad (1)$$

где: i – индекс показателя; $i = 1 \dots I$; I – количество показателей, определяющих приоритет субъекта федерации при обеспечении бюджетным финансированием ремонтно-эксплуатационных работ. $I=3$; j – индекс бюджетополучателя; $j = 1 \dots J$; J – количество бюджетополучателей. $n = 1, \dots, N$; N – количество систем в регионе.

Для оросительных систем $a_{1j} = S_j * (1 + S_0 / W) / \sum_{j=1}^J S_j$, (при $W=0$; $V = S/W = 0$)

где: S_0 – площадь фактически политых земель, W – годовой объем водозабора.

$$a_{2j} = B_j / \sum_{j=1}^J B_j; \quad B_j = \sum_{n=1}^N B_{nj}; \quad (2)$$

$$a_{3j} = (1 - T_j); \quad T_j = O_j / B_j; \quad O_j = \sum_{n=1}^N O_{nj}; \quad (3)$$

где: O_j – остаточная балансовая стоимость систем региона. Остальные показатели ясны из предыдущего.

«Ценность» бюджетополучателя $ЦБ_j$ устанавливается зависимостью (4).

$$ЦБ_j = \sum_i^I (e_{ij} * a_{ji}) \quad (4)$$

где: b_{ij} , - «весовой коэффициент», характеризующий важность показателей для j бюджетополучателя.

Объем планируемого финансирования ремонтно-эксплуатационных работ j бюджетополучателя ($КБ_j$) равен:

$$КБ_j = (K / \sum_{j=1}^J ЦБ_j) * ЦБ_j \quad КБ_j < K_j^{треб} \quad (5)$$

где: K – планируемый объем бюджетного финансирования ремонтно-эксплуатационных работ мелиоративного фонда; $K_j^{треб}$ – объем финансирования ремонтно-эксплуатационных работ, требующийся j бюджетополучателю.

При оптимизации решений по назначению планово – предупредительных мероприятий технической эксплуатации оросительных систем на региональном уровне реализован подход, базирующийся на эвристическом методе распределения ограниченных бюджетных средств на финансирование ремонтно-эксплуатационных мероприятий по мелиоративным системам региона. Распределение бюджетных средств осуществляется в два этапа.

На первом - определяются расходы, обеспечивающие жизнеспособность мелиоративных фондов, относящихся к «пассивным», не привязанными к объемам водоподачи, которыми являются :расходы на текущий ремонт мелиоративной сети и сооружений, содержание и ремонт гражданских и производственных зданий, противопаводковые работы, уход за лесонасаждениями и другие подобные расходы. На следующем этапе распределяются средства на содержание «активных» мелиоративных фондов, прямо или опосредованно связанных с объемами водоподачи: содержание и ремонт ГТС, гидростов, оградительных дамб и водопроводящей сети ; насосных станций и скважин, в том числе расходы на электроэнергию и топливо; очистка оросительной и коллекторно-дренажной сети, заготовка аварийного запаса материалов и др.

Перечень показателей, формирующих критерий «ценность» (значимость) i системы, устанавливающий ее приоритет при обеспечении бюджетным финансированием ремонтно-эксплуатационных работ пассивных фондов ($ЦП_i$) представлен полной ($Б_i$) и остаточной ($О_i$) балансовой стоимостью системы. Для вычисления $ЦП_i$ используется выражение (6).

$$ЦП_i = b_{1j} * Б_i / \sum_{i=1}^I Б_i + b_{2j} * (1 - О_i / Б_i) \quad (6)$$

где: b_{1j} , b_{2j} - региональные весовые коэффициенты показателей критерия «ценности», соответственно полной $Б_i$ и остаточной ($О_i$) балансовой стоимости; $i = 1, \dots, I$ - порядковый номер системы; I – количество систем в j регионе.

Объем планируемого финансирования ремонтно-эксплуатационных работ пассивных фондов i системы ($КП_i$) определяется по зависимости (7).

$$КП_i = (КП / \sum_{i=1}^I ЦП_i) * ЦП_i \quad КП_i \leq КП_i^{треб.} \quad КП_i^{треб.} = 0.6 Б_i^{треб.} \quad (7)$$

где: $КП_{i^{треб}}$ - объем финансирования ремонтно-эксплуатационных работ, требующийся для пассивных фондов i системы.

$КБ_{i^{треб}}$ - потребность в финансировании ремонтно-эксплуатационных работ i системы в целом.

Согласно сложившемуся в практике эксплуатации мелиоративного водохозяйственного комплекса страны соотношению доля средств, выделяемых на ремонтно – эксплуатационные мероприятия пассивных фондов ($КП$) составляет не менее 60% от общего объема финансирования планово-предупредительных

работ. На активные фонды направляется 40% от планируемых на ремонтно – эксплуатационные мероприятия объектов средств (КА).

Средства на плано-предупредительные мероприятия активных фондов конкретной i системы j региона ($КА_i$) выделяются пропорционально критерию «ценности» $ЦА_i$, который вычисляется по формуле (8).

$$ЦА_i = b_{1j} * S_i + b_{4j} * (B_i - O_i) / \sum_{i=1}^I КА_i^{треб} \quad (8)$$

где: b_{3j} , b_{4j} - коэффициенты значимости для активных фондов региона соответственно площади системы (S_i) и изношенности основных фондов, характеризующей величиной ($B_j - O_i$);

B_j – полная балансовая стоимость i системы j региона; O_i – остаточная балансовая стоимость i системы j региона; $КА_{iтреб}$ - объем средств, требующийся на плано-предупредительные мероприятия активных фондов i системы j региона. $i = 1, \dots, I$ - порядковый номер системы; I – количество систем в j регионе.

Объем планируемого финансирования ремонтно-эксплуатационных работ активных фондов i системы ($КА_i$) определяется согласно (9).

$$КА_i = (КА / \sum_{i=1}^I ЦА_i) * ЦА_i \quad КА_i < КА_i^{треб}, \quad (9)$$

Общий объем планируемого финансирования ремонтно-эксплуатационных работ i системы ($КБ_i$) равный сумме объемов финансирования ремонтно-эксплуатационных работ активных ($КА_i$) и пассивных ($КП_i$) фондов должен удовлетворять условиям (10).

$$КБ_i = КП_i + КА_i \leq КБ_{iтреб}; \quad КА + КП \leq КБ \quad (10)$$

Наличие программного комплекса паспортизации мелиоративных систем позволит впервые в отрасли выполнить анализ и оценку потребности мелиоративного фонда федеральной формы собственности в мероприятиях технической эксплуатации, базирясь на показателях конкретных систем.

Результаты анализа технического состояния мелиоративного водохозяйственного комплекса (рис. 2) свидетельствуют о настоятельной необходимости проведения модернизации, капитального ремонта, реконструкции большинства функционирующих оросительных и осушительных систем и строительства новых, соответствующих требованиям сегодняшнего дня.

Степень износа основных фондов на мелиоративных и водохозяйственных системах федеральной формы собственности составляет в целом по Российской Федерации 67,1%, возрастая до 72,6 % в Южном федеральном округе, в котором сосредоточена основная часть (свыше 50%) мелиоративных систем федеральной формы собственности. Максимальных значений (свыше 70%) износ достигает для водозаборов – 81,8%, трубопроводов – 78,0%, лотков – 80,5, насосных станций -74,4 %.

Млрд. руб.

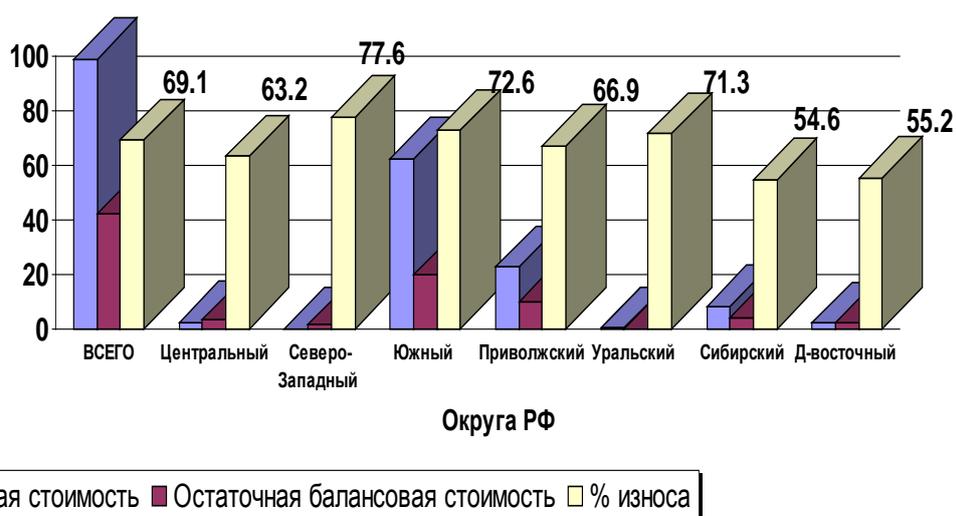


Рисунок 2 - Полная и остаточная балансовая стоимость, % износа мелиоративных систем по федеральным округам России

Учет и оценка средств, выделяемых на выполнение планово - предупредительных эксплуатационных мероприятий оросительных систем федеральной формы собственности (капитальный ремонт и реконструкция), также подтверждают тезис о совершенно недостаточных объемах финансирования указанных мероприятий, как на межхозяйственной, так и, в особенности, на внутривозвращенной сети оросительных систем.

В среднем затраты на планово предупредительные мероприятия по эксплуатации межхозяйственной сети оросительных систем составляют 2624.2 тыс. руб., внутривозвращенной сети - 254,6 тыс. руб. Финансирование планово-предупредительных мероприятий по эксплуатации осушительных систем – порядка 198.538 тыс. руб., в том числе капитального ремонта - 46.482 тыс. руб, реконструкции – 152.056 тыс. руб.

Согласно заявкам субъектов Российской Федерации требующееся финансирование планово-предупредительных мероприятий мелиоративных систем федеральной формы собственности достигает 23803.507 млн. руб., т.е. превышает фактическое более чем в 9 раз. Не следует забывать, что заявленная потребность в финансировании определялась с учетом сложившейся практики выделения средств и возможностей их освоения. Но даже в этом случае потребность в финансировании значительно выше планируемых инвестиций в предупредительные мероприятия технической эксплуатации настоящего времени, а также прогнозируемых возможностей бюджетного финансирования в ближайшей перспективе

В складывающейся сложной ситуации распределения ограниченных средств возрастает актуальность использования программного комплекса для

выбора мероприятий повышения безопасности и надежности эксплуатации мелиоративных систем, обеспечивающего компьютерную поддержку принятия эффективного управленческого решения.

Технико-экономические показатели функционирования СППР, определяют:

- повышение коэффициента полезного использования воды за счет снижения объемов водозабора при оптимизации управленческих решений от 10 до 15 %;
- предотвращение ущерба от возможных аварийных ситуаций порядка 30-50%;
- повышение уровня автоматизации труда на 20%;
- рост производительности труда на 30%,

что соответствуют результатам отечественных и зарубежных исследований эффективности автоматизации управленческого труда [15-17].

Заключение. В составе исследований разработаны требования к информационной системе, реализующей поддержку решений по оценке состояния объектов мелиоративного водохозяйственного комплекса, планированию мероприятий технической эксплуатации и распределению инвестиций в сохранение и развитие мелиоративного фонда по результатам многовариантного имитационного моделирования.

Информационные технологии указанной СППР, базирующиеся на «дружественном интерфейсе», позволят в интерактивном режиме:

выполнять сбор, хранение, обработку, трансформацию и использование исходной и промежуточной информации;

осуществлять паспортизацию и мониторинг технического состояния объектов мелиорации;

определять потребность в планово – предупредительных мероприятиях и их ресурсном обеспечении в целом для мелиоративного водохозяйственного комплекса и согласно выделенным классификационным признакам: модернизации, восстановлению и реконструкции мелиоративных систем и отдельно расположенных ГТС;

оптимизировать решения по распределению ограниченных инвестиций в техническую эксплуатацию мелиоративных объектов для федерального (уровень ФГБНУ по управлению мелиорацией) и регионального (уровень мелиоративных систем и отдельно расположенных ГТС) уровней управления эксплуатацией;

формировать и выдавать пользователю оперативные, стратегические и архивные документы.

К отличительным особенностям предлагаемой к разработке СППР относятся:

применение в процессе принятия решений количественных оценок и оценка принятых решений и их последствий на основе математических методов;

формирование системы необходимых и достаточных диагностических показателей технического состояния мелиоративного фонда, базирующихся на принципах доступности, релевантности, технологичности;

использование имитационного моделирования, отражающего содержательные аспекты процесса принятия решений, в качестве альтернативы максимально формализованному оптимизационному моделированию;

разработка новых оригинальных критериев оптимизации принимаемых решений, характеризующихся простотой и наличием исходных данных для расчета количественных значений и возможностью использования в экспресс – методах оценки;

создание базы открытой и достоверной исходной информации для СППР на основе паспортных данных объектов мелиорации, состав и структура которых апробированы для анализа и оценки технического состояния мелиоративного фонда традиционным способом.

Очевидно, что по мере расширения практического применения СППР и преодоления руководителями барьера недоверия к новациям в такой чрезвычайно ответственной, сложной и достаточно закрытой сфере деятельности, как управление, потребуются следующие шаги к обеспечению соответствия ИСУ сферы мелиорации требованиям к информатизации управления лидеров отечественной экономики и совместимости с мировым процессом информатизации. В частности, ими может стать увеличивающийся объем разработки программного обеспечения на основе «облачных» технологий.

Список использованных источников

1. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. N 149-ФЗ (в редакции от 13 июля 2015 года) Об информации, информационных технологиях и о защите информации. 22 с.
2. Бандурин, М.А. Применение систем управления базами данных при эксплуатационном мониторинге водопроводящих сооружений / М.А. Бандурин //Современные наукоемкие технологии. -2016. № 12-1.- С. 24-28.
3. Носов, А. К. Выявление потенциально опасных ГТС сферы мелиораций/А. К. Носов, И. Ф. Юрченко//Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр./ФГБНУ «РосНИИПМ». -Новочеркасск: Геликон, 2013. -Вып. 51. -С. 101-110.
4. Балакай, Г.Т. Повышение ответственности сельхозтоваро-производителей за воспроизводство почвенного плодородия мелиорируемых земель/Балакай Г.Т., Юрченко И.Ф., Лентяева Е.А., Ялалова Г.Х.//Агрохимический вестник. 2015. Том 2. №2. С.29-33.
5. Блеск и нищета информационных технологий. Почему ИТ не являются конкурентным преимуществом. / Пер. с англ. М.: Издательский дом «Секрет фирмы». 2005. 176 с.
6. Бандурин, М.А. Автоматизация мониторинга ливнеотводящих сооружений на водопроводящих каналах Ставропольского края /М.А. Бандурин, И.П. Бандурина // Инженерный вестник Дона . -2015.-Т.35.-№2-1.-С.37.
7. Балакай Г. Т. Безопасность бесхозных гидротехнических сооружений/Г. Т. Балакай, И. Ф. Юрченко, Е. А. Лентяева, Г. Х. Ялалова. -Германия: LAP LAMBERT, 2016. -85 с.
8. Галумян А.М. Интегрированные информационные системы: анализ и перспективы внедрения в процесс управления предприятием // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2014. № 5 [Электронный ресурс]. URL: <http://ekonomika.snauka.ru/2014/05/4956> (дата обращения: 15.11.2015).
9. Глазунов С. Бизнес в облаках. Чем полезны облачные технологии для предпринимателя. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://sic.icwc-aral.uz.22.02.2013г.>

10. Черников Б. В. Информационные технологии управления: учебник / Б.В. Черников. 2е изд., перераб. и доп. М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРАМ, 2013. 368 с.: ил. — (Высшее образование).
11. The Global Information Technology Report 2013: Growth and Jobs in a Hyperconnected World [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www3.weforum.org/docs/WEF_GITR_Report_2013.pdf (дата обращения: 07.12.2013).
12. Nguyen T. U. H., Newby M. and Macaulay M. J. Information Technology Adoption in Small Business: Confirmation of a Proposed Framework. Journal of Small Business Management. Volume 53, Issue 1, pages 207–227, 2015.
13. Юрченко, И. Ф. Планово - предупредительные мероприятия повышения надежности мелиоративных объектов/И. Ф. Юрченко//Природообустройство. -2017. -№1. -С. 73 -79.
14. Юрченко И.Ф., Трунин В. В. Система поддержки принятия решений по водораспределению на базе Веб технологий// Научный журнал Российского НИИ Проблем мелиорации.2014. №2(14). С.87-97.
15. Сараев А. Д., Щербина О. А. Системный анализ и современные информационные технологии //Труды Крымской Академии наук. — Симферополь: СОНАТ, 2006. С. 47-59.
16. Gartner. BPM (business process management) [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://blogs.gartner.com/it-glossary/business-process-management-bpm-2> (дата обращения: 07.12.2013).
17. Marchewka J. T. Information Technology Project Management. John Wiley & Sons, 2014 г. 376 р.

УДК 631.6; 504.06

КОМПЛЕКСЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ МЕЛИОРАТИВНЫМИ РЕЖИМАМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Яшин В.М., Ялалова Г.Х.

ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

В статье рассматриваются структура и состав мелиоративных мероприятий по управлению мелиоративными режимами при эксплуатации оросительных систем. На основе энергетического подхода к формированию мелиоративного режима выделены типы мелиоративных режимов – эволюционирующий, компенсационный и критический. Для обеспечения расширенного воспроизводства почвенного плодородия и получения высокой урожайности сельскохозяйственных культур необходимо обеспечить целенаправленное формирование мелиоративного режима путем реализации комплексов мелиоративных и агро-мелиоративных мероприятий. Рассмотрены два уровня управления мелиоративным режимом – оперативный (сезонный) и на уровне многолетнего регулирования. Предложены составы мероприятий для достижения нормативного мелиоративного состояния орошаемых земель.

Ключевые слова: ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, МЕЛИОРАТИВНЫЙ РЕЖИМ, УРОВНИ УПРАВЛЕНИЯ, ПОЧВА, ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ, ОРОСИТЕЛЬНАЯ ВОДА, МЕЛИОРАТИВНЫЕ И АГРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Введение

В результате взаимодействия мелиоративной системы и комплексов агро-мелиоративных и агротехнических мероприятий с компонентами природной среды формируется мелиоративный режим, определяющий интенсивность и направленность потоков вещества и энергии в мелиорируемом агроландшафте. Обоснование мелиоративного режима на орошаемых землях осуществляется на стадии проектирования оросительной системы. Однако в реальных условиях нередко эксплуатация оросительных систем приводит к развитию неблагоприятных природно-мелиоративных процессов на орошаемых землях и в зоне влияния оросительных систем. Об этом свидетельствует многочисленный опыт эксплуатации оросительных систем в различных регионах мира.

Исследованиями установлено, что орошение без специальных мелиоративных мероприятий вызывает ухудшение агрофизических и агрохимических свойств почв. Изменяется их структура, увеличивается плотность, снижается содержание органических веществ, изменяется рН почвенного раствора, развиваются процессы выноса питательных веществ ниже активного слоя и процессы вторичного засоления почв, загрязнения почв и другие неблагоприятные процессы [1, 2]. На орошаемых землях наблюдается подъем грунтовых вод, которые являются одним из главных факторов почвообразовательного процесса и формирования экологических условий территории [1, 3-5]. Происходит трансформация автоморфных процессов почвообразования на полугидроморфные и гидроморфные, подъем грунтовых вод приводит к увеличению интенсивности потоков вещества и энергии в системе «приземный слой воздуха - почва – грунтовые воды», сокращению мощности зоны аэрации, и снижению ассимиляционной емкости ландшафтов и необходимости строительства дренажа [2,3,6,7,8].

Задача управления мелиоративными режимами заключается в формировании эволюционирующего или компенсационного энергетического режимов почвы, при которых складывается положительный или нулевой энергетический баланс почвы в многолетнем разрезе.

Методика исследований

В качестве методической основы исследований были приняты:

- методологическая база обоснования и проектирования мелиоративных систем;
- анализ и обобщение опубликованных научных и практических результатов научно-исследовательских институтов отрасли и мирового опыта;
- анализ опыта эксплуатации оросительных систем и их влияния на изменение состояния компонентов природной среды;
- методология управления мелиоративными режимами в условиях интенсивной антропогенной нагрузки с учетом закономерностей вещественно-энергетической трансформации агроландшафта при проведении комплексных мелиораций.

Результаты и обсуждение

В общем виде технология управления мелиоративным режимом при эксплуатации оросительных систем состоит из следующих этапов:

- анализа и оценки современного (текущего) мелиоративного состояния орошаемых земель и экологического состояния компонентов природной среды;
- прогнозных расчетов (при необходимости) и прогнозных оценок мелиоративного режима с использованием моделей развития природно-мелиоративных процессов;
- при неудовлетворительной фактической или прогнозной оценке выполняется корректировка осуществляемых мелиоративных мероприятий или назначение новых.

Предлагаемые алгоритмы управления мелиоративными режимами при эксплуатации оросительных систем предусматривают управление орошением на локальном уровне регулирования природно-мелиоративных процессов.

Многочисленными исследованиями изменений природных условий процессов при функционировании оросительных систем в различных регионах страны установлены основные закономерности трансформации природно-мелиоративных процессов [1-5 и др.].

Анализ формирования показателей мелиоративного режима при эксплуатации оросительных систем в различных регионах позволяет выделить два уровня изменчивости их во времени, что соответственно определяет и два уровня их управления (регулирования) - оперативный (сезонный) и многолетний. Сезонное регулирование предусматривает реализацию управляющих мероприятий в рамках обычного функционирования оросительной системы. Многолетнее регулирование включает мелиоративные мероприятия «коренного» характера – капитальные промывки, планировки, химмелиорации и др.

Алгоритм управления мелиоративным режимом в оперативном регулировании включает следующие этапы:

- на первом этапе на основе анализа режима грунтовых вод для последующего учета их влияния на водный режим почв устанавливается тип почвообразовательного процесса по гидроморфизму – гидроморфный, полугидроморфный, автоморфный. Если глубина грунтовых вод более 3,0 метров формирование режима влажности орошаемых почв регламентируется только водопоступлением на поверхность почвы (орошение, осадки);
- в последующем для условий гидроморфного и полугидроморфного режимов последовательно выполняется анализ фактического режима влажности почвы, анализ режима грунтовых вод, солевого и питательного режима орошаемых почв.

Фактическая величина влажности почвы (W_{ϕ}) должна находиться в пределах регулирования от максимального (W_{\max}) до минимального значений (W_{\min}), устанавливаемых для конкретных культур при разработке режимов орошения в составе проекта мелиоративной системы или на стадии составления планов водопользования.

Анализ режима влажности почв и назначение управляющих мелиоративных мероприятий выполняется в соответствии со следующим алгоритмом:

- при $(W_{\min}) < (\text{или равно}) (W_{\phi}) < (\text{или равно}) (W_{\max})$ оросительная система функционирует в нормативном режиме;

- если $(W_{\phi}) < (\text{или равно}) (W_{\min})$, то осуществляется корректировка режима орошения. При этом необходимо учитывать поправочные коэффициенты на величину поливной нормы в зависимости от глубины грунтовых вод;

- если $(W_{\phi}) > (W_{\max})$, то проводится анализ положения грунтовых вод (УГВ). При $УГВ < УГВ_{\text{доп.}}$ на основе прогнозов управляющие воздействия (мероприятия) осуществляются корректировкой режимов орошения (снижение водоподдачи) и мероприятий по понижению уровня грунтовых вод. Минерализация и химический состав грунтовых вод учитывается в моделях расчета водно-солевого режима в качестве начальных и граничных условий, а также при корректировке величины водопотребления путем введения поправочных коэффициентов.

Анализ солевого режима почв осуществляется путем сравнения фактической засоленности почв (C_{ϕ}) с допустимым значением ($C_{\text{доп.}}$). Если фактическое значение превышает допустимое, то требуется промывной режим орошения на основе прогнозных расчетов водно-солевого режима.

Алгоритм оперативного управления мелиоративным режимом должен быть «привязан» к конкретной сельскохозяйственной культуре, к участку оросительной системы.

Управление мелиоративным режимом при многолетнем уровне регулирования требует обоснования и реализации мероприятий по предупреждению и/или ликвидации развивающихся деградационных процессов для обоснования расширенного воспроизводства плодородия почв. Выбор мелиоративных и агро-мелиоративных мероприятий осуществляется на основе анализа данных эколого-мелиоративного мониторинга по динамике показателей мелиоративного режима, службы эксплуатации мелиоративных систем и данных хозяйств-землепользователей.

Анализ выполняется путем последовательной оценки показателей мелиоративного режима и динамики площадей развития неблагоприятных процессов. При этом анализируется динамика формирования процессов засоления и осолонцевания почв, агрохимические и агрофизические показатели, качество оросительных и сбрасываемых с системы вод. Анализ и оценку формирования показателей мелиоративного режима можно выполнять в любой последовательности, но на практике приоритетную, определяющую мелиоративный режим роль, занимает состояние грунтовых вод, засоленность и солонцеватость орошаемых почв.

Одним из основных факторов формирования мелиоративного режима на гидромелиоративных системах является *режим грунтовых вод*, с анализа которого в первую очередь выполняется оценка общего мелиоративного состояния мелиорируемых земель.

Для уменьшения ирригационного питания грунтовых вод и понижения их уровня должны быть реализованы следующие мероприятия:

- корректировка режимов орошения с целью снижения водопадачи;
- совершенствование способов орошения и техники полива, для сокращения непроизводительных потерь оросительной воды;
- мероприятия по снижению фильтрационных потерь из оросительной сети;
- планировка орошаемых земель;
- введение севооборотов с включением преимущественно влаголюбивых культур;
- строительство искусственного дренажа.

Управление мелиоративным режимом для формирования благоприятного *солевого режима* орошаемых почв осуществляется на основе оценки наличия засоленных почв или опасности развития процессов вторичного засоления (наличие минерализованных грунтовых вод в условиях гидроморфного режима почвообразовательных процессов). Оценка выполняется путем сопоставления фактического засоления почв с допустимым. Для регулирования солевого режима осуществляются мелиоративные мероприятия по ликвидации и/или предупреждению засоления:

- капитальные промывки засоленных почв;
- эксплуатационные промывки в межвегетационный период;
- промывной режим орошения;
- понижение уровня грунтовых вод повышенной минерализации;
- регулирование качества оросительной воды;
- возделывание солеустойчивых культур;
- фитомелиоративные севообороты.

При промывном режиме орошения оросительные нормы увеличиваются на 10 – 20%.

Осолонцованность почв оценивается по содержанию ионов натрия и магния в почвенно-поглощающем комплексе (ППК) [9, 10].

При формировании мелиоративного режима регулирование солонцоватости осуществляется путем проведения следующих мероприятий:

- химические мелиорации путем внесения кальций содержащих мелиорантов (гипс, фосфогипс и др.);
- промывной режим орошения;
- мелиоративное рыхление;
- мероприятия по регулированию поверхностного стока (лункование, прерывистые борозды, щелевание и др.);
- применение фитомелиоративных севооборотов;
- возделывание содоустойчивых культур;
- кондиционирование качества оросительной воды.

Основным фактором почвенного плодородия является содержание в почве *гумуса* - важнейшего источника энергии почвы [10,11]. Для обеспечения эволюционирующего мелиоративного режима требуется, как минимум, создание бездефицитного баланса гумуса. Расширенное воспроизводство почвенного плодо-

родия требует ежегодного восполнения запасов почвенного гумуса. Наилучшими органическим удобрением является навоз крупного рогатого скота (КРС), внесение которого в пахотные земли в настоящее время явно недостаточно [10]. В то же время в агротехнологиях применение находят торф, сапропели, вермикомпост, осадки сточных вод, отходы сахарного производства, различные компосты и сложные многокомпонентные удобрительные смеси. Перспективность разработки и применения последних заключается в комплексности их воздействия на показатели почвенного плодородия – содержание гумуса, структуру почвы, почвенно-поглощающий комплекс и микробиологическую активность [6,12-16]. На фоне регулирования водного режима орошаемых почв в общем виде рекомендуется проведение следующих мелиоративных и агро-мелиоративных мероприятий:

- регулярное внесение в почву свежего органического вещества в виде навоза, различных компостов, зеленого удобрения, соломы и т.д. для создания положительного баланса органического вещества и стимулирования процессов гумусообразования;

- внесение органоминеральных и минеральных веществ для улучшения структурного состояния почвы, повышения ППК и буферной способности почвы;

- введение в севообороты бобовых культур и многолетних трав;

- внесение микробных препаратов для повышения биологической активности почвы и стимулирования гумусообразовательных процессов;

- внесение нетрадиционных органических удобрений (компосты, осадки сточных вод, лигнин, сапропель, кора, опилки и др.) с учетом экологических ограничений на их качество.

Кроме навоза и компостов на его основе для пополнения органических веществ в почве применяются следующие мероприятия:

- использование соломы сельскохозяйственных культур для восполнения запасов органических веществ в почве;

- использование сидеральных культур;

- применение нетрадиционных органических удобрений (компосты, осадки сточных вод, лигнин, сапропель, вермикомпост, гуматы и др.)

Оценка *кисотно-щелочного режима почв* при формировании мелиоративного режима осуществляется путем анализа отклонения фактических значений от оптимальных, благоприятных для развития сельскохозяйственных культур уровней кислотности почв и солонцеватости почв. Отклонение не должно превышать 0,15 от оптимального значения. Оптимальные значения величины рН зависят от возделываемой сельскохозяйственной культуры и характеристик гранулометрического состава почвы. Мероприятия по предупреждению и ликвидации при превышении величины рН (солонцеватость) рассмотрены выше, при низких значениях рН (кислые почвы) реализуются мероприятия по химической мелиорации почв по внесению химмелиорантов (известковая и доломитовая мука и другие химмелиоранты).

Теоретические подходы и расчетные модели к обоснованию норм внесения органических удобрений и химических мелиорантов на основе использования энергетических подходов рассматривается в работе [17].

Оценку состояния орошаемых почв *по загрязненности их тяжелыми металлами* выполняется путем комплексной оценки по суммарному загрязнению или по ПДК и ОДК отдельных загрязнителей. Выбор способов очистки и нейтрализации ТМ зависит от вида, степени загрязнения и типа почвы.

В значительной степени на состояние растений и орошаемых почв влияет *качество оросительной воды*, а именно общее содержание растворенных солей (минерализация воды) и её химический состав. При орошении водой с повышенной минерализацией возникает опасность вторичного засоления почв.

При неудовлетворительном качестве оросительной воды по химическому составу и опасности осолонцованности почв рекомендуется реализовать мероприятия:

- кондиционирование оросительной воды путем фильтрации через контейнеры, заполненные гипсовыми блоками в оросительную воду;
- применение детерминированных режимов орошения, предусматривающих предпосевные или послевсходовые поливы водой хорошего качества, а последующие низкого качества;
- применение севооборотов с включением сельскохозяйственных культур с повышенной содоустойчивостью.

Качество *сбрасываемых* с оросительной системы оценивается по показателям, характеризующим их дальнейшее целевое использование. При сбросе в гидрографическую сеть используются значения ПДК индивидуальных загрязнителей. Для снижения концентрации загрязнителей необходимо корректировать применяемые агротехнологии с целью снижения норм минеральных удобрений и норм использования агрохимикатов.

Для ликвидации *микрорельефа* в соответствии с технологическими картами один раз в несколько лет в период предпосевной подготовки полей проводится эксплуатационная планировка после предварительного рыхления почвы. Планировка осуществляется с пределами отклонения отметок поверхности ± 3 см.

Список использованных источников

1. Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.
2. Кац Д.М. Влияние орошения на грунтовые воды. М.: Колос, 1976 – 273с.
3. Зимовец Б.А. Экология и мелиорация почв сухостепной зоны. М.: Изд-во РАСХН, 1991. 249 с.
4. Яшин В.М. Обоснование экологически допустимых норм инфильтрационных потерь оросительной воды // Мелиорация и водное хозяйство.
5. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель - Л.: Гидрометеиздат, 1968. -346 с.
6. Кирейчева Л.В., Юрченко И.Ф. Яшин В.М. Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России. Под научной редакцией проф. Кирейчевой Л.В. М: ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2017. – 296 с.
7. Кирейчева Л.В. Дренажные системы на орошаемых землях: прошлое, настоящее, будущее – М., 1999. – 202 с.

8. Яшин В.М. Экологические функции зоны аэрации / В сборнике: «Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования» Материалы юбилейной международной научно-практической конференции (Костяковские чтения). М., 2007. С. 78-84.
9. Экологические требования к орошению почв России: Рекомендации / Составители: Б.А. Зимовец, А.Г. Бондарев, И.П. Айдаров, В.Я. Григорьев, и.И. Судницын, Н.П. Чижикова, Н.Б. Хитров, А.И. Корольков, Т.И. Королькова. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1996. – 72 с.
10. Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии: Т. 1. Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий. Коллективная монография. — М.: Почв, ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2013. — 756 с.
11. Шеуджен А.Х., Нещадим Н.Н., Онищенко Л.М. Органическое вещество почвы и методы его определения: Учебное пособие / Под ред. В.Т. Куркаева. – Майкоп: ОАО «Полиграфиздат «Адыгея», 2007. – 344 с.
12. Яшин В.М., Кирейчева Л.В., Перегудов С.В., Евсенкин К.Н., Шилова Е.Ю. Повышение плодородия деградированных и малопродуктивных почв путем использования удобрительно-мелиорирующих смесей // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. №5-6. С. 26-31.
13. Славянский А.А., Кирейчева Л.В., Пузанова Л.Н. Отходы сахарного производства и их использование в сельском хозяйстве // Сахар. № 10, 2009. С. 48-49
14. Кирейчева Л.В., Хохлова О.Б. Повышение плодородия почв на основе внесения сапропелей // Вестник российской сельскохозяйственной науки, 2005 №5. - С.37-39
15. Кирейчева Л.В., Яшин В.М. Эффективность применения органоминеральных удобрений на основе сапропеля // Агрехимический вестник. 2015. №2. С. 37-40.
16. Мерзлая Г.Е. Нетрадиционные органические удобрения // Плодородие. №2. 2005. С. 23-25.
17. Кирейчева Л.В., Лентяева Е.А. «Основные направления восстановления антропогенно деградированных почв земель сельскохозяйственного назначения» // Агрехимический вестник. 2016. № 4.

СОДЕРЖАНИЕ

БЕДРЕТДИНОВ Г.Х. ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ И УКЛАДКИ ДРЕНАЖА УЗКОТРАНШЕЙНЫМ СПОСОБОМ.....	3
БЕДРЕТДИНОВ Г.Х. ТЕХНОЛОГИИ РАСЧИСТКИ ЗЕМЕЛЬ С УТИЛИЗАЦИЕЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ПОЧВЕ.....	12
БОРОДЫЧЕВ В.В., КОНТОРОВИЧ И.И. ТЕХНОЛОГИЯ СОКРАЩЕНИЯ ОБЪЕМОВ МИНЕРАЛИЗОВАННОГО ДРЕНАЖНОГО СТОКА СПОСОБОМ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОГО ИСПАРЕНИЯ.....	24
БОРОДЫЧЕВ В.В., ХРАБРОВ М.Ю., ГУБИН В.К., ГУРЕНКО В.М., МАЙЕР А.В. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОРОШЕНИЯ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СПОСОБОВ ПОЛИВА.....	34
БОРОДЫЧЕВ С.В., ГУРЕНКО В.М. КОМБИНИРОВАННОЕ ОРОШЕНИЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ЭЛИТНЫХ САЖЕНЦЕВ ВИНОГРАДА.....	42
БУБЕР А.А., ГЕТЬМАН Е.Н., ЕНАКАЕВА В.Р., ПОПОВА Н.М., ХОМУТОВ Ю.А. ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НИЖНЕЙ КУБАНИ.....	49
БУБЕР А.А., БУБЕР В.Б. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ И ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА НИЖНЕЙ КУБАНИ..	62
БУБЕР А.Л. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОПУСКА ПОЛОВОДЬЯ И ПАВОДКОВ ПРИ СОВМЕСТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ СБРОСОВ ИЗ КРЮКОВСКОГО, ВАРНАВИНСКОГО И КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ В ПЕРИОД КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ПОЛОВОДИЙ И ПАВОДКОВ.....	67
БУБЕР А.Л. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ БАССЕЙНОВ РЕК В ИНТЕРЕСАХ ВОДОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (АПК)	75
БУБЕР А.Л., БУБЕР А.А., БУБЕР В.Б. ВОДОРЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ.....	89
ГОЛОВИНОВ Е.Э., КИСЕЛЕВ С.А., СЕМЕНОВА К.С. МОНИТОРИНГ ВОДОПРОВОДЯЩИХ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.....	94
ДЕДОВА Э.Б., ДЕДОВ А.А., ШАБАНОВ Р.М. ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ЛИМАННЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ КАЛМЫКИИ.....	102

ДЕДОВА Э.Б., КОНИЕВА Г.Н., ДЕДОВ А.А АГРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ ПРИЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИМАННЫХ УГОДИЙ НА ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЛЯХ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ	112
ДЕДОВА Э.Б. АДАПТИВНЫЕ МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОСИСТЕМНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В АПК РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ.....	123
ЕВГРАФОВ А. В., МАКСИМЕНКО В. П., ХОМУТОВ Ю. А. ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМАМИ УВЛАЖНЕНИЯ НА ОСУШИТЕЛЬНО- УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ.....	143
ЕВСЕНКИН К.Н., НЕФЕДОВ А.В., ИВАННИКОВА Н.А. ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ СРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ	148
ЖЕЗМЕР В.Б. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГТС МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА В ВОПРОСАХ СБОРА, ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ПОЛУЧЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	158
ИВАНОВА В.И., МАНДЖИЕВА Т.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕКРЕАЦИИ	170
КИРЕЙЧЕВА Л.В., ИЛЬИНСКИЙ А.В., ДАНЧЕЕВ Д.В., МАЖАЙСКИЙ Ю.А., ПОБЕДИНСКАЯ Г.В., ИГНАТЕНКО В.А. ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФИТОРЕМЕДИАНТОВ И ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ «САПРОСИЛ» НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАБИЛИТАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ПОЧВ.....	178
ИСАЕВА С.Д. СИСТЕМА МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОСИСТЕМНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ	186
НЕФЕДОВ А.В., КИРЕЙЧЕВА Л.В., ЕВСЕНКИН К.Н , ИВАННИКОВА Н.А., ЯШИН В.М. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ НА ОСНОВЕ ВНЕСЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ «САПРОСИЛ»	193
КИРЕЙЧЕВА Л.В., ЯШИН В.М. ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ.....	201
КИРЕЙЧЕВА Л.В., ИЛЬИНСКИЙ А.В. ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФИТОРЕМЕДИ-АНТОВ И КОМБИНИРОВАННЫХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОТ НЕФТЕПРО-ДУКТОВ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ	208

ЛЕНТЯЕВА Е.А., ФЕДОТОВА И.В.	
ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫБОРА СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОРОСИТЕЛЬНЫХ И ДРЕНАЖНО-СБРОСНЫХ ВОД ПРИ СОЗДАНИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	214
ЛЫТОВ М.Н.	
К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ ПОЧВЫ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ..	222
ДУБЕНОК Н.Н., МАЙЕР А.В.	
ГИДРОМЕЛИОРАТИВНАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНОГО, ВОЗДУШНОГО И ПИТАТЕЛЬНОГО РЕЖИМОВ САДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ	227
МАКАРОВА Л.Ю., МАЖАЙСКИЙ Ю.А.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ОБВОДНЕНИЯ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ.....	232
МАКАРЫЧЕВА Е.А.	
МОНИТОРИНГ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ И ПОРОД ПРИ ОРОШЕНИИ.....	236
МАКСИМЕНКО В. П., ВОЛЧКОВА Т. Л., МЕНЬШИКОВА С. А., АЙРИЯН Н. В.	
ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА НА ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	240
НАУМОВА Т.В.	
МОНИТОРИНГ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ I - III КЛАССОВ И ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕХОДА НА СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ УПРАВЛЕНИЯ.....	248
НЕФЕДОВ А.В., ЕВСЕНКИН К.Н., ИВАННИКОВА Н.А.	
ОБОСНОВАНИЕ ПРИЕМОМ КОМПЛЕКСНОЙ МЕЛИОРАЦИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ СРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ	255
НИКОЛАЕНКО А.Н., МЕНЬШИКОВА С.А.	
МЕЛИОРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВ, ВКЛЮЧАЯ ПОЧВЕННЫЕ СУБСТРАТЫ.....	266
ОВЧИННИКОВА Е.В.	
МОНИТОРИНГ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ	274
ПУНИНСКИЙ В.С.	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И МАШИН ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ПОЧВ С СОЛОНЦОМ.....	280

ПУНИНСКИЙ В.С.	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАНАЛООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНОЙ СЕТИ	292
ПЫЛЕНКО П.И., СЕЛЬМЕН В.Н., ЕРШОВА Г.И., РОДЬКИНА В.Н.	
ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ НА СИСТЕМАХ РЕЦИКЛИНГОВОГО ТИПА В ЗОНЕ ОСУШЕНИЯ.....	301
СТРЕЛЬБИЦКАЯ Е.Б., СОЛОМИНА А.П.	
ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КАЧЕСТВЕННЫМ СОСТАВОМ ДРЕНАЖНО-СБРОСНЫХ ВОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ВОДОПРИЕМНИКИ.....	320
ХРАБРОВ М.Ю., ГУБИН В.К., КОЛЕСОВА Н.Г., КУДРЯВЦЕВА Л.В.	
ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.	330
ЖОГИН И.М., КАМАЛОВ М.М., НАСОНОВ А.Н., АБДУЖАББАРОВ Х.М., ЦВЕТКОВ И.В.	
ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ФРАКТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТА ОТ ЕГО ВЛАЖНОСТИ.....	341
ЩЕРБАКОВ А.О., ВЕРБИЦКИЙ В.С., КУШЕР А.М., ТАЛЫЗОВ А.А.	
РАЗРАБОТКА НОВЫХ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА В ВОДOPPOBODЯЩЕЙ СЕТИ И ЭЛЕМЕНТАХ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ.....	347
ЮРЧЕНКО И.Ф.	
ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	352
ЯШИН В.М., ЯЛАЛОВА Г.Х.	
КОМПЛЕКСЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ МЕЛИОРАТИВНЫМИ РЕЖИМАМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	363

Научное издание

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ИНСТИТУТА
ЗА 2017 ГОД**

Сборник научных трудов

Издано в авторской редакции

Подписано в печать 04.2018
Усл.печ.л. 25,38. Тираж 300 экз. Заказ №
Издаетльство ВНИИГиМ
127550 Москва, ул.Большая Академическая, д.44, корп.2