

ISSN 1997-6011

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Научно-практический журнал

2' 2016

Москва

УДК 502/504
ББК 20.1
П 77

Учредители:
Департамент
научно-технологической
политики и образования
Министерства сельского
хозяйства
Российской Федерации
ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА
имени К. А. Тимирязева

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

«Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

Научно-практический журнал 2' 2016

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации
П И № ФС 77-58566 от 14 июля 2014 г.

Рецензенты:
И. П. Айдаров,
доктор технических наук
А. И. Голованов,
доктор технических наук
Д. П. Гостищев,
доктор технических наук
Г. Х. Исмаилов,
доктор технических наук
А. Е. Касьянов,
доктор технических наук
В. Н. Краснощеков,
доктор экономических наук
А. М. Марголин,
доктор экономических наук
И. П. Свинцов,
доктор сельскохозяйственных наук
В. И. Сметанин,
доктор технических наук
Е. А. Ходяков,
доктор сельскохозяйственных наук
В. В. Шабанов,
доктор технических наук

Главный редактор выпуска
М. С. Зверьков

При использовании материалов журнала
в любой форме
ссылка на журнал обязательна.

За достоверность информации
ответственность несут авторы.

ISSN 1997-6011

Редакционный совет:

Д. В. Козлов, академик РИА и РАЕН,
доктор технических наук, профессор –
главный научный редактор

А. И. Голованов, доктор технических наук,
профессор, заслуженный деятель науки РФ –
заместитель главного научного редактора

И. П. Айдаров, академик РАН,
заслуженный мелиоратор РФ

В. А. Евграфов, доктор технических наук, профессор

В. Я. Жарницкий, доктор технических наук

И. Ю. Залысин, доктор политических наук, профессор

Г. Х. Исмаилов, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ

Н. П. Карпенко, доктор технических наук

И. П. Свинцов, академик РАН

В. И. Сметанин, доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы РФ

Н. В. Ханов, доктор технических наук, профессор

В. В. Шабанов, доктор технических наук, профессор

Д. В. Штеренлихт, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ

Журнал включен ВАК в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов
и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные
результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук»

Цена одного номера – 220 р.

Индекс журнала в Объединенном каталоге «Пресса России» – 80746

УДК 502/504
ББК 20.1

© ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева, 2016

**UDC 502/504
BBC 20.1
P 77**

**Founders:
Department
of the scientific-technological
policy and education
of the Ministry
of agriculture
of the Russian Federation
Russian Timiryazev State
Agrarian University**

**The Federal state budget
educational institution
of higher education
«Russian Timiryazev State Agrarian University»**

Theoretical-practical journal

2' 2016

**The journal is registered
by the Federal service for supervision
of communications, information technology
and mass media**

**Certificate of registration
PI No FS 77-58566 dated July 14, 2014**

Reviewers:

*A. P. Aidarov,
doctor of technical sciences
A. I. Golovanov,
doctor of technical sciences
D. P. Gostishchev,
doctor of technical sciences
G. Kh. Ismailylov,
doctor of technical sciences
A. E. Kasjyanov,
doctor of technical sciences
V. N. Krasnoshchekov,
doctor of economics
A. M. Margolin,
doctor of economics
I. P. Svintsov,
doctor of agricultural sciences
V. I. Smetanin,
doctor of technical sciences
E. A. Khodyakov,
doctor of agricultural sciences
V. V. Shabanov,
doctor of technical sciences*

**Edito-in-chief of the issue
M. S. Zverkov**

When using the materials of the journal
in any form
reference to the journal is obligatory.

The authors of are responsible
for validity of the information.

ISSN 1997-6011

Editorial council:

*D. V. Kozlov, academician of RIA and RAEN,
doctor of technical sciences, professor –
Scientific editor-in-chief*

*A. I. Golovanov, doctor of technical sciences,
professor, honored scientists of RF –
Deputy scientific editor-in- chief*

*I. P. Aidarov, academician of the Russian Science
Academy, honored irrigator of RF
V. A. Evgraphov, doctor of technical sciences, professor
V. YA. Zhartnitsky, doctor of technical sciences
I. Yu. Zalyzin, doctor of political sciences, professor
G. Kh. Ismailylov, doctor of technical sciences, professor,
honored scientist of RF
N. P. Karpenko, doctor of technical sciences
I. P. Svintsov, academician of the Russian Science
Academy
V. I. Smetanin, doctor of technical sciences, professor,
honored worker of the RF higher school
N. V. Khanov, doctor of technical sciences, professor,
V. V. Shabanov, doctor of technical sciences, professor
D. V. Shterenlikht, doctor of technical sciences, professor,
honored scientist of RF*

**The journal is included in VAK (HCC) «List of the leading reviewed scientific journals
and editions in which main scientific results
of a doctoral or candidate's thesis must be published»**

Price of one issue – 220 r.

Index of the journal in the catalogue of «Pressa Rossii» – 80746

**UDC 502/504
BBC 20.1**

© Russian Timiryazev State Agrarian University, 2016

Содержание

05.23.00 Строительство и архитектура

Козлов Д. В., Крутов Д. А. Исследования напряженно-деформированного состояния бетонного массива для обоснования несущей способности анкера	6
Баутдинов Д. Т., Атабиев У. И. Напряженное состояние трансверсально-изотропного скального грунта вблизи напорного гидротехнического туннеля круговой формы сечения	10
Евграфов А. В., Евграфова И. М. Мероприятия по охране поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения при золотодобыче закрытым способом	15
Прошляков И. В., Исмаилов Г. Х. К теории формирования максимального дождевого склонового стока	21
Сметанин В. И., Аверьянов В. Н. Совершенствование технологии уплотнения глинистых грунтов при возведении гидротехнических сооружений	28
Силкин А. М., Жарническая Н. Ф. Особенности деформируемости и прочности торфов	37
Черных О. Н., Алтунин В. И., Бурлаченко А. В. Повышение эффективности гидравлической работы дорожных водопропускных труб	42
Чистякова А. В., Орлов В. А., Чухин В. А. Диагностика технического состояния металлических трубопроводов	48

06.01.00 Агрономия

Бородычев В. В., Дедова Э. Б., Сухарев Ю. И. Ресурсно-экологическая оценка рисовых агроландшафтов Сарпинской низменности	55
Брыль С. В., Зверьков М. С. Вертикальное эффективное давление удара капли о почву	62
Хумарханум Дадаш кызы Дадашова Ландшафтно-экологические основы формирования урбанизационных зон в Азербайджане и особенности их динамического развития (на примере городов Гянджа и Мингечевир)	68
Домашенко Ю. Е., Васильев С. М. Исследования по оптимизации коагуляционной обработки животноводческих стоков с применением оксихлоридного коагулянта для целей орошения	76
Леонтьев Ю. П., Макаров А. А. Оценка сопротивления рыхлению и однородности фракций грунта для рыхлителя с дополнительным оборудованием	82
Максименко В. П., Стрельбицкая Е. Б., Соломина А. П., Айриян Н. В. Возможности реализации рециклинга на осушительно-увлажнительных системах гумидной зоны	87
Марголина Е. В. Экономические механизмы стимулирования уменьшения сбросов загрязненных сточных вод	95

06.03.00 Лесное хозяйство

Евграфов А. В. Повышение пожарной устойчивости торфа с использованием специальной техники	102
Касьянов А. Е. Экологически безопасная технология защиты леса от вредителей на осушаемых землях	107

06.04.00 Рыбное хозяйство

Власов В. А. Влияние астатичного температурного режима воды на рост сибирского осетра	110
Перечень требований и условий представления статей для публикации в журнале	118

Contents

05.23.00 Building and architecture

Kozlov D. V., Krutov D. A. Investigations of the mode of deformation of the concrete block for substantiation of the anchor carrying capacity	6
Bautdinov D. T., Atabiev U. I. Stressed state of the transversally isotropic rocks close to a head hydrotechnical tunnel of a circular form section	10
Evgrafov A. V., Evgrafova I. M. Measures on protection of surface and ground water from contamination and exhaustion under gold mining by a closed technique	15
Proshlyakov I. V., Ismailov G. Kh. Concerning the theory of formation of the maximal rain slope runoff	21
Smetanin V. I., Averyanov V. N. Improvement of the technology of clay soils compaction at erection of hydraulic structures	28
Cilkin A. M., Zharnitskaya N. F. Peculiarities of the deformability of peats strength	37
Chernykh O. N., Altunin V. I., Burlachenko A. V. Increase of effectiveness of the hydraulic operation of road culvert pipes	42
Chistyakova A. V., Orlov V. A., Chukhin V. A. Diagnostics of technical condition of metal pipelines	48

06.01.00 Agronomy

Borodychev V. V., E. B. Dedova, Sukharev Yu. I. Resource-ecological assessment of rice agro landscapes of Sarpinskaya lowland	55
Bryl S. V., Zverkov M. S. Vertical effective pressure of drop impact on soil	62
Khumarkhanum Dadash kyzy Dadashova Landscape-ecological bases of forming urbanized zones in Azerbaijan and peculiarities of their dynamic development (by an example of Ganja and Mingachevir cities)	68
Domashenko Yu. E., Vasiljev S. M. Researches on optimization of coagulant treatment of livestock waste water using oxychloride coagulant for irrigation	76
Leontjev Yu. P., Makarov A. A. Assessment of resistance to loosening and uniformity of soil fractions for a ripper with an additional equipment	82
Maximenko V. P., Strelbitskaya E. B., Solomina A. P., Airiyan N. V. Possibility of implementation of recycling on drying-humidifying systems of the damp area	87
Margolina E. V. Economic encouragement mechanisms of polluted waste water discharge	95

06.03.00 Forestry

Evgrafov A. V. Enhancement of peat fire stability using special techniques	102
Kasjanov A. E. Environmentally safe technology of forest protection from pests on drainage lands	107

06.04.00 Fishery

Vlasov V. A. The influence of the astatic temperature water regime on the growth of the Siberian sturgeon	110
List of requirements and conditions of articles submission for publication in the journal	118

УДК 502/504:626/627.03.042.019.3

Д. В. КОЗЛОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

Д. А. КРУТОВ

Частное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования
«Газпром корпоративный институт», г. Москва

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОННОГО МАССИВА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АНКЕРА

В статье приведены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния гребня бетонной плотины Богучанской ГЭС на реке Ангаре, выполненные для обоснования несущей способности анкера. Стальной анкер запроектирован для испытания крана. Для характеристики интегральной несущей способности анкера применить простую расчетную схему (как для стержневого ненапряженного анкера) невозможно. Это связано с тем, что запроектированный анкер представляет собой сложную конструкцию со стальной плитой и косынками жесткости в основании. Для совершенствования расчетов пассивных анкерных креплений проведены исследования с использованием метода конечных элементов в трехмерной линейно-упругой постановке на статические нагрузки. Результаты исследований показали, что объем бетона, вовлеченного в работу испытанием анкера, распространяется на всю высоту анкера и представляет собой усеченный конус, боковые поверхности которого составляют угол с горизонтальной плоскостью $\approx 75^\circ$. Максимальные растягивающие вертикальные напряжения S_y в зоне испытания анкера составили до $+7$ МПа, касательные S_{xy} – до ± 7 МПа.

Испытания козлового крана, несущая способность анкера, конечно-элементная аппроксимация анкера, сила, удерживающая анкер.

Введение. Напорный фронт гидроузла Богучанской ГЭС на р. Ангаре общей длиной 2556 м создают бетонная гравитационная плотина и каменно-набросная плотина из местных материалов. Бетонная плотина состоит из глухих, стационарных и водосбросных секций.

При строительстве Богучанской ГЭС был выполнен комплекс натурных исследований и дана оценка напряженно-деформированного состояния бетонной плотины [2, 3]. Наибольший интерес для дальнейших исследований представляет напряженно-деформированное состояние гребня секций. Так, в верхней части одной из водосбросных секций № 24 в пределах отметок 210...214 м проводятся испытания крана, требующие использования стального анкера.

Стальные анкеры нашли широкое применение в гидротехническом строительстве. С помощью анкерных креплений решаются самые разнообразные проблемы, связанные с устойчивостью сооружений и их оснований. Анкеровка к скальным основаниям бетонных и железобетонных конструкций позволяет существенно экономить на расходе бетона при строительстве.

Методы исследований. Несущая способность анкера зависит от качества заделки анкера в породу, прочности цементного раствора, сцепления раствора со сталью анкера и сцепления в скважине со стенками скальной породы.

В методике расчета анкеров, предложенной А. П. Тимофеевым в работе [1],

используются простые расчетные схемы (рис. 1) и формулы.

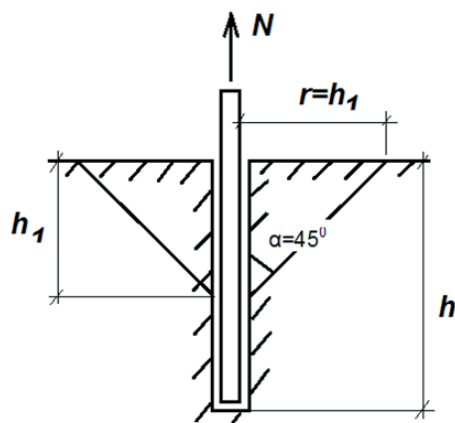


Рис. 1. Схема к расчету стержневого анкера: h — это глубина скважины; $h_1 = (0,7 \dots 0,4)h$

Усилие в анкере N определяется по формуле:

$$N \gamma_{ca} = (\gamma_n \gamma_{lc} / \gamma_c F_{от} - G), \quad (1)$$

где γ_{ca} — обобщенный коэффициент условий работы анкера; $F_{от}$ — отрывающая нагрузка; G — вес рассматриваемой конструкции; γ_n — коэффициент надежности; γ_{lc} — коэффициент сочетания нагрузок; γ_c — коэффициент условий работы.

В рассматриваемом случае весом самого анкера можно пренебречь, то есть $G = 0$ в формуле (1). Прочность заделки должна соответствовать условию:

$$N \leq R_v + P_v \quad (2)$$

где R_v — сила сцепления по поверхности конуса выпора; P_v — вес конуса выпора.

Расчетная схема, представленная на рисунке 1, применяется для конструкции стержневых ненапряженных анкеров и не подходит для более сложных анкерных конструкций. На рисунке 2 представлена конечно-элементная аппроксимация анкера, предназначенного для испытания козлового крана. Анкер устраивается путем омоноличивания в окружающем бетоне. Для уточнения расчетной схемы были проведены исследования на основе метода конечных элементов в трехмерной линейно-упругой постановке на статические нагрузки. Исследования проводились для секции № 24, при этом воспроизводимая модель ограничивалась двумя вертикальными плоскостями, проходящими через межсекционные швы сооружения (рисунок 3).

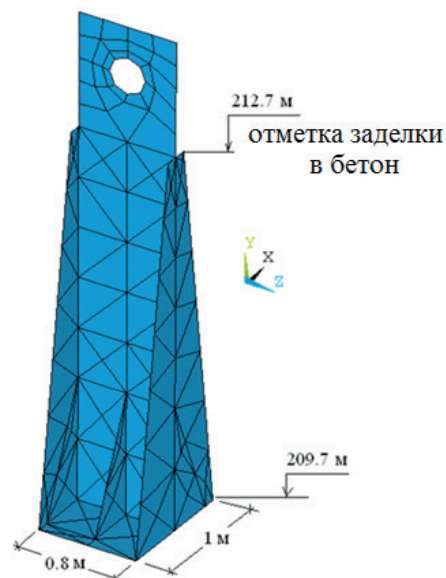


Рис. 2. Конечно-элементная аппроксимация анкера

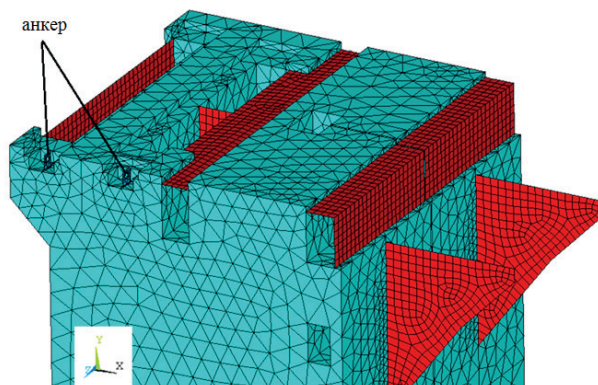


Рис. 3. Гребень секции № 24 плотины Богучанской ГЭС с анкерами для испытания козлового крана

Нагрузка при испытании крана составила 625 тс. Расчетный модуль упругости бетона принят равным 30000 МПа.

Результаты исследований. Очевидно, что конус выпора для испытуемого анкера не будет соответствовать конусу выпора, представленному на рисунке 1. Как и ожидалось, плита в основании анкера с косынками жесткости вовлекла в работу бетон по всей высоте анкера. Результаты расчетов показаны на рисунке 4.

Из рисунка 4 следует, что объем бетона, вовлеченного в работу испытанием анкера, распространяется на всю высоту анкера (3 м) и представляет собой усеченный конус, боковые поверхности которого составляют угол с горизонтальной плоскостью $\approx 75^\circ$.

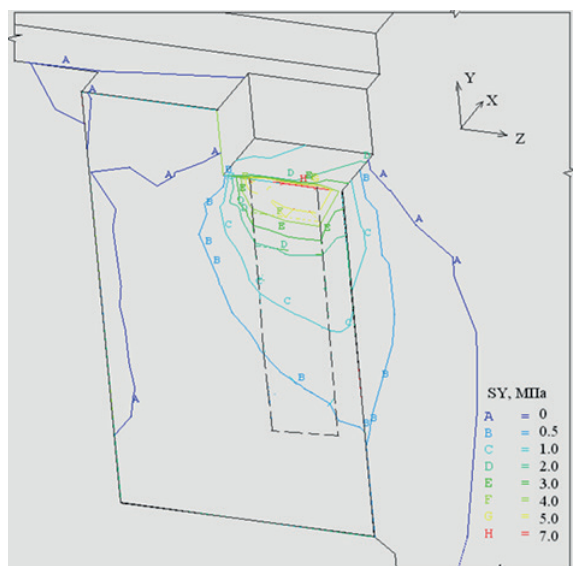


Рис. 4. Изолинии нормальных вертикальных напряжений SY (в МПа), при испытании крана

За критерий образования конуса выпора с определенной условностью принята изолиния растягивающих нормальных вертикальных напряжений 0,5 МПа (класс бетона по прочности В20). Нижним основанием конуса является плита анкера 0,8х1,0 м, верхним – дно ниши.

Максимальные растягивающие вертикальные напряжения SY в зоне испытания анкера составляют до +7 МПа, касательные Sxy – до ± 7 МПа.

Вес бетона внутри конуса оказался равен 19,4 тс, сопротивление бетона срезу-отрыву по боковой поверхности конуса 1576,8 тс. Сила, удерживающая анкер, равна $1576,8 + 19,4 = 1596,2$ тс. Коэффициент запаса составил 2,27.

Выводы

Выполненный расчет характеризует интегральную несущую способность анкера. Поскольку нормальные и касательные напряжения в бетоне вблизи анкера значительные и превосходят прочность бетона на растяжение в локальной зоне установки анкера, рекомендуется армирование объема бетона вокруг анкера горизонталь-

ными и вертикальными сетками.

Объем конуса выпора для конструкции анкера с опорной плитой и косынками жесткости распространяется на всю высоту анкера и представляет собой усеченный конус, боковые поверхности которого составляют угол с горизонтальной плоскостью $\approx 75^\circ$.

Необходимо совершенствовать методы расчета пассивных анкерных креплений, а также конструкции анкеров с целью обеспечения их взаимодействия с анкеруемыми массивами для обеспечения эффективной совместной работы.

Библиографический список

1. Тимофеев А. П. К вопросу анкерования бетонных конструкций. // Гидротехническое строительство. – 1962. – № 1. – С. 27 – 30.
2. Козлов Д. В., Крутов Д. А. Анализ собственных деформаций бетона по данным натурных наблюдений на плотине Богучанского гидроузла. // Гидротехническое строительство. – 2005. – № 1. – С. 31–36.
3. Козлов Д. В., Крутов Д. А. Оценка состояния бетонной плотины Богучанской ГЭС по данным натурных наблюдений за свободными деформациями. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2005. – № 3. – С. 14–16.

Материал поступил в редакцию 04.02.2016.

Сведения об авторах

Козлов Дмитрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, проректор РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550 г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19.; Тел.: 8(499)-976-29-62, e-mail: kozlovdv@mail.ru.

Крутов Денис Анатольевич, кандидат технических наук, преподаватель корпоративного института ОАО «Газпром»; 117997, Москва, ул. ул. Прянишникова, д. 19.; Тел.: 8(499)-976-29-62, e-mail: kozlovdv@mail.ru.

D. V. KOZLOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

D. A. KRUTOV

The private educational institution of the additional vocational education
«Gazprom corporate institute», Moscow

INVESTIGATIONS OF THE MODE OF DEFORMATION OF THE CONCRETE BLOCK FOR SUBSTANTIATION OF THE ANCHOR CARRYING CAPACITY

In the article there are given results of calculations of the mode of deformation of the concrete dam crest of Boguchany HPS on the Angara river required for substantiation of anchor carrying capacity. The steel anchor was designed for the crane tests. It is not possible to apply a simple design scheme (as for a threaded slack anchor) for the characteristics of the anchor integral bearing capacity. It is connected with the fact that the designed anchor is a complicated structure with a steel plate and stiffness gussets in the base. For improvement of calculations of passive anchor fastenings there were carried our investigations using a method of finite elements in a three-dimensional linearly - elastic arrangement on static loadings. The results of researches showed that the volume of the concrete involved in the work by the anchor testing spreads on the all anchor height and represents a truncated cone with side surfaces making an angle with the horizontal plane $\approx 75^\circ$. The maximum stretching vertical tensions SY in the zone of the anchor testing were up to +7 MPa, tangent Sxy – to ± 7 MPa.

Tests of gantry crane, anchor carrying capacity, anchor finite-element approximation, anchor holding force.

References

1. Timifeev A. P. K voprosu ankerovaniya betonnyh constructsij. // Hydrotehnicheskoye stroiteljstvo. – 1962. – № 1. – S. 27 – 30.
2. Kozlov D. V., Krutov D. A. Analiz sobstvennyh deformatsij betona po dannym naturnyh nablyudenij na plotline Boguchanskogo hydrouzla // Hydrotehnicheskoye stroiteljstvo. – 2005. – № 1. – S. 31–36.
3. Kozlov D. V., Krutov D. A. Otsenka sostoyaniya betonnoj plotiny Boguchanskoj GES po dannym naturnyh nablyudenij za svobodnymi deformatsiyami //

Melioratsiya i vodnoye hozyaistvo. – 2005. – № 3. – S. 14–16.

Received on 04.02.2016.

Information about the authors

Kozlov Dmitriy Vyacheslavovich, doctor of technical sciences, professor of RSAU – MAA named after C.A. Timiryazev, 127550 Moscow, ul. Pryanishnikova, 19.; Tel.: 8(499)-976-29-62, e-mail: kozlovdv@mail.ru

Krutov Denis Anatoljevich, candidate of technical sciences, lecturer of the corporate institute OAO «Gazprom»; 117997, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19, tel.: 8(499)-976-29-62.

УДК 502/504:69.035.4:539.31

Д. Т. БАУТДИНОВ, У. И. АТАБИЕВФедеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва**НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОГО
СКАЛЬНОГО ГРУНТА ВБЛИЗИ НАПОРНОГО
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО ТУННЕЛЯ КРУГОВОЙ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ**

В статье проведен параметрический анализ напряженного состояния трансверсально-изотропного скального грунта вблизи напорного гидротехнического туннеля круговой формы сечения от внутреннего напора воды, которые широко распространены в области гидротехнического строительства и являются одними из самых сложных, трудоемких и дорогих типов сооружений, входящих в состав основных сооружений гидроузлов, мелиоративных систем и систем водоснабжения. В качестве водопропускных и водопроводящих сооружений их строят под землей в тех случаях, когда открытая выемка грунтов невозможна или неэкономична, когда трасса туннеля проходит через густонаселенную или густо застроенную местность, или на ней возможны оползни, осыпи, камнепады. Определены тангенциальные напряжения по контуру выработки гидротехнического туннеля при различных отношениях модулей деформаций и коэффициентов Пуассона, позволяющие оценивать прочность грунтового массива при различных глубинах заложения туннеля. Расчет гидротехнического туннеля большой протяженности, проложенного в крепком, трансверсально-изотропном скальном грунте, сведен к задаче плоской деформации теории упругости для трансверсально-изотропной среды, содержащей туннельную выработку. Так как решение такой задачи невозможно аналитическими методами анализ напряженного состояния был выполнен методом конечного элемента с использованием программного комплекса ANSYS. Предварительно были определены размеры и тип элемента, пригодного для расчета на основе решения тестовой задачи. В качестве тестовой задачи для расчета туннеля круговой формы сечения на внутренний напор воды была рассмотрена задача Ламе для толстостенного изотропного цилиндра, при равномерном внешнем и внутреннем давлении.

Трансверсально-изотропная среда, теория упругости, плоская деформация, модуль деформаций, коэффициент Пуассона.

Введение. Подземные гидротехнические сооружения широко распространены в области гидротехнического и мелиоративного строительства и одновременно являются одними из самых сложных и дорогих типов основных сооружений, входящих в состав гидроузлов, мелиоративных систем и систем водоснабжения.

Гидротехнические туннели глубокого заложения могут возводиться с обделкой и без нее, при проходке в слаботрещинистых скальных не размываемых грунтах. Применение гидротехнических туннелей без обделки позволяет снизить их стоимость на 20...30 % и сократить сроки строительства на 10...15 %.

При проектировании гидротехнических туннелей глубокого заложения, проходящих в анизотропных грунтах с отношением модулей деформаций в разных направлениях более чем 1,4, расчет следует проводить с учетом анизотропии [1].

По деформационности и прочности в различных направлениях массивы скальных грунтов следует считать изотропными при коэффициенте анизотропии не более 1,5. Под коэффициентом анизотропии понимают отношение большего значения характеристики к меньшему в двух заданных направлениях [2].

Эти требования свидетельствуют о том, что при расчете гидротехнических туннелей, проходящих в грунтах с сильно выраженной анизотропией, модель изотропного тела не применима.

Целью данной работы является проведение параметрического анализа напряженного состояния анизотропного скального грунта с различными упругими характеристиками в ортогональных направлениях от внутреннего напора воды на контуре выработки круговой формы сечения, используя модель трансверсально-изотропной среды.

Материалы и методы исследования. Расчет гидротехнического туннеля большой протяженности, проложенного в крепком, трансверсально-изотропном скальном грунте, можно свести к задаче плоской деформации теории упругости для трансверсально-изотропной среды, содержащей туннельную выработку. Так как решение такой задачи невозможно аналитическими методами анализ напряженного состояния был выполнен методом конечного элемента с использованием программного комплекса ANSYS. Предварительно были определены размеры и тип элемента, пригодного для расчета на основе решения тестовой задачи.

В качестве тестовой задачи для расчета туннеля круговой формы сечения на внутренний напор воды была рассмотрена задача Ламе для толстостенного изотропного цилиндра, при равномерном внешнем и внутреннем давлении (рис. 1).

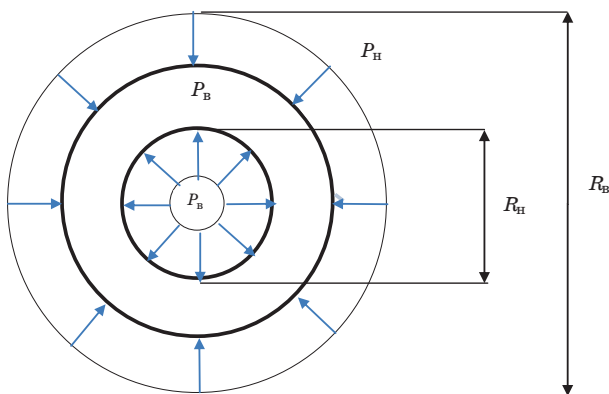


Рис. 1. К задаче Ламе (тестовая задача): R_b – внешний радиус; R_n – внутренний радиус; P_b – внутреннее давление; P_n – внешнее давление

Выражения для радиальных σ_r и окружных σ_θ напряжений, согласно решению Ламе, имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{R_b^2 P_b - R_n^2 P_n}{R_n^2 - R_b^2} - \frac{R_b^2 R_n^2 (p_b - p_n)}{R_n^2 - R_b^2} \cdot \frac{1}{r^2}; \\ \sigma_\theta &= \frac{R_b^2 P_b - R_n^2 P_n}{R_n^2 - R_b^2} + \frac{R_b^2 R_n^2 (p_b - p_n)}{R_n^2 - R_b^2} \cdot \frac{1}{r^2}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Полагая в данном случае в (1) и (2) $R_n = \infty$, $P_n = 0$, $P_b = 1$, раскрывая неопределенность, получим напряжения на контуре туннеля круговой формы сечения от внутреннего напора воды равного единице:

$$\sigma_\theta = 1; \sigma_r = -1.$$

Результаты расчетов с использованием программного комплекса ANSYS показали хорошее соответствие с результатами тестовой задачи.

Расчетная схема, моделирующая гидротехнический туннель со значительной глубиной заложения без обделки с круговой формой сечения, проходящей в скальных грунтах с различными упругими характеристиками в ортогональных направлениях с учетом геометрической и физической симметрии, представлена на рисунке 2. Размеры выбранной расчетной области были минимизированы с учетом задания «активной зоны» (критерий М. И. Фролова) [3].

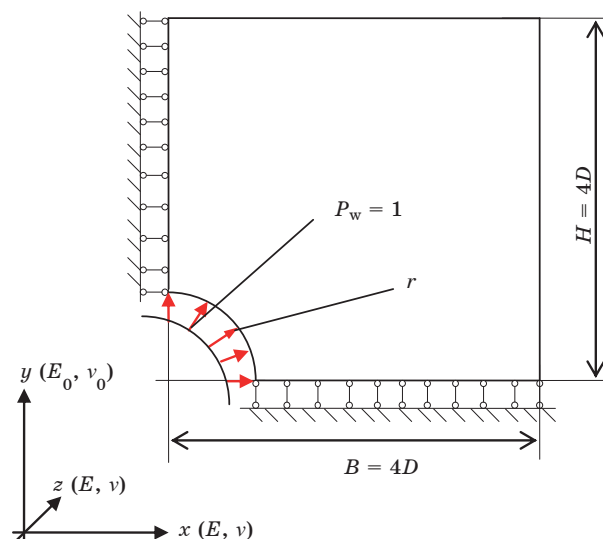


Рис. 2. Расчетная схема, моделирующая внутренний напор воды на туннель (по модели трансверсально-изотропной среды)

Для удобства вычислений, согласно принципу суперпозиции линейной теории упругости, напряженное состояние туннеля предварительно определялось от единичной нагрузки, моделирующей внутренний напор воды. Затем, умножая полученные результаты на реальную величину напора, можно получить истинное напряженное состояние.

При проведении расчетов задавались различные значения коэффициента анизотропии $\alpha = E/E_0$ от 1 до 3 с шагом 0,5 и отношения ν_0/ν от 1 до 3,5 с шагом 0,5 при $\nu = 0,1$ (здесь E и E_0 , ν и ν_0 – модули деформации и коэффициенты Пуассона в изотропном и трансверсальном направлениях соответственно). В координатных

индексах эти параметры соответствуют:
 $E = E_x = E_z, E_y = E_0, \nu = \nu_{xz} = \nu_{zx}, \nu_0 = \nu_{xy}$.

Результаты исследований. Результаты расчета на единичный внутренний напор воды в гидротехническом туннеле без обделки, проходящем в трансверсально-изотропном скальном грунте при $p_w = 1$ показаны ниже.

Для оценки влияния анизотропии свойств грунтового массива на напряженное состояние туннеля на рисунке 3 приведена эпюра относительных окружных напряжений η на контуре выработки круговой формы для изотропной среды. На рисунке 4 приведена эпюра относительных тангенциальных напряжений при $E/E_0 = 2, \nu_0/\nu = 3,5$; для трансверсально-изотропной среды.

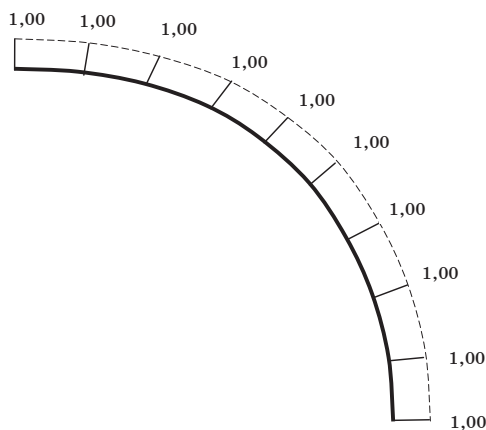


Рис. 3. Эпюра относительных тангенциальных напряжений по контуру туннеля кругового сечения от внутреннего напора воды для изотропной среды ($\nu = 0,1$)

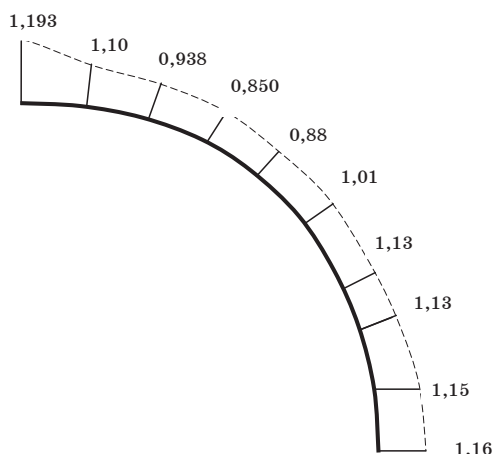


Рис. 4. Эпюра относительных тангенциальных напряжений по контуру туннеля кругового сечения от внутреннего напора воды для изотропной среды для трансверсально-изотропной среды ($E/E_0 = 2, \nu_0/\nu = 3,5$)

Как видно из рисунка 4, наиболее опасны для скального грунта относительные тангенциальные растягивающие напряжения, локализующиеся в верхней и в нижней (в силу симметрии) частях выработки, увеличиваются по сравнению с напряжениями в изотропной среде. Также в некоторых сечениях контура круговой выработки растягивающие напряжения незначительно уменьшаются относительно напряжений в изотропной среде.

При отношении $E/E_0 = 2, \nu_0/\nu = 3,5$ наибольшие растягивающие напряжения в верхней части выработки равны $\eta_+^{\max} = 1,193$, а в боковой части равны $\eta_+^{\max} = 1,16$. При дальнейшем увеличении отношений модулей деформаций и коэффициентов Пуассона растягивающие напряжения в верхнем и боковом сечении выработки возрастают по сравнению с напряжениями в изотропной среде.

В таблицах 1 и 2 представлены значения относительных тангенциальных напряжений в верхнем и в боковом сечении выработки круговой формы от внутреннего напора воды в зависимости от отношений упругих характеристик.

Как видно в таблице 1, в диапазоне E/E_0 от 1 до 3 и ν_0/ν от 1 до 2 (с шагом 0,5) напряжения на контуре выработки практически не отличаются от напряжений в изотропной среде. Также, при расчете напряжений по контуру туннеля кругового сечения от внутреннего напора воды E/E_0 от 1 до 3 и ν_0/ν от 2 до 3,5 (с шагом 0,5) которые значительно изменяются относительно изотропной среды.

Таблица 1

Относительные тангенциальные напряжения в верхнем сечении выработки круговой формы от внутреннего напора воды в зависимости от отношений упругих характеристик

Коэффициент анизотропии	Соотношение коэффициентов Пуассона ν_0/ν					
E/E_0	1	1,5	2	2,5	3	3,5
1	1	1,001	1,002	1,005	1,01	1,015
1,5	1,001	1,001	1,01	1,017	1,028	1,041
2	1,004	1,009	1,019	1,034	1,052	1,076
2,5	1,006	1,016	1,032	1,054	1,082	1,12
3	1,01	1,024	1,046	1,078	1,119	1,171

Таблица 2
Относительные тангенциальные
напряжения в боковом сечении
выработки круговой формы от
внутреннего давления воды
в зависимости от отношений упругих
характеристик

Коэффициент анизотропии	Соотношение коэффициентов Пуассона ν_0/ν					
E/E_0	1	1,5	2	2,5	3	3,5
1	1	1	1,003	1,006	1,01	1,017
1,5	1	1,002	1,007	1,014	1,024	1,036
2	1,001	1,005	1,013	1,024	1,04	1,061
2,5	1,002	1,008	1,02	1,036	1,059	1,091
3	1,003	1,012	1,027	1,049	1,081	1,126

Авторы статьи рассмотрели совместное действие внутреннего напора воды и собственного веса грунта на напорный туннель без обделки круговой формы сечения.

Анализ напряженного состояния

туннеля кругового сечения на собственный вес грунта представлен в работе [4]. Согласно работе [4] относительные окружные напряжения на контуре выработки при ($\nu = 0,1$), представлены в таблице 3 в зависимости от номера сечения контура выработки (рис. 5).

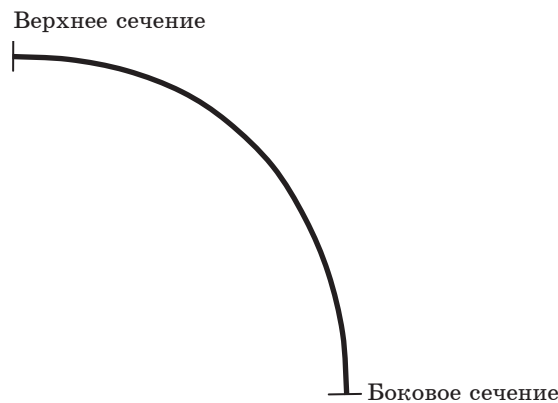


Рис. 5. Обозначение сечений контура круговой выработки

Таблица 3
Значения относительных тангенциальных напряжений η на контуре выработки
круговой формы от собственного веса грунта в зависимости от соотношений упругих
характеристик в ортогональных направлениях при $\nu = 0,1$ [1]

Коэффициент анизотропии		Соотношение коэффициентов Пуассона ν_0/ν					
E/E_0	Номер/сечения	1	1,5	2	2,5	3	3,5
1	Верхнее	0,670	0,497	0,322	0,144	-0,048	-0,221
	Боковое	-2,899	-2,857	-2,817	-2,780	-2,745	-2,712
1,5	Верхнее	0,851	0,667	0,481	0,294	0,106	-0,094
	Боковое	-2,737	-2,700	-2,664	-2,630	-2,597	-2,565
2	Верхнее	0,992	0,799	0,606	0,410	0,214	0,021
	Боковое	-2,638	-2,604	-2,572	-2,541	-2,510	-2,480
2,5	Верхнее	1,108	0,909	0,708	0,506	0,302	0,099
	Боковое	-2,570	-2,539	-2,509	-2,480	-2,451	-2,424
3	Верхнее	1,207	1,002	0,795	0,587	0,378	0,168
	Боковое	-2,520	-2,491	-2,463	-2,436	-2,409	-2,383

Умножая относительные напряжения от внутреннего напора воды на величину реального напора, относительные напряжения от собственного веса грунта на реальную глубину заложения туннеля, а затем (в силу линейности решаемой задачи), суперпозируя результаты, можно получить истинные значения окружных напряжений на контуре выработки от совместного действия внутреннего напора воды и собственного веса грунта.

Для примера (таблица 4) авторами статьи рассмотрены:

глубина заложения туннеля $H = 100$ м;
 реальный напор воды $H_w = 100$ м;
 удельный вес грунта $\gamma_{гр} = 25$ кН/м³;
 удельный вес воды $\gamma_b = 10$ кН/м³.

Тогда:

$$\Sigma_0 = H(P_b \gamma_b + \gamma_{гр} P_{гр}). \quad (2)$$

Результаты расчета для верхнего и бокового сечения круговой выработки при совместном действии представлены в таблице 3.

Коэффициент анизотропии		Соотношение коэффициентов Пуассона ν_0/ν					
E/E_0	Номер сечения	1	1,5	2	2,5	3	3,5
1	Верхнее Боковое	2665,00 -6257,50	2233,5 -6153,0	1797,0 -6050,0	1355,0 -5954,0	879,9 -5863,0	452,35 -5773,00
1,5	Верхнее Боковое	3118,49 -5852,50	2658,5 -5758,0	2202,4 -5663,0	1741,8 -5571,0	1282,7 -5479,0	795,59 -5387,00
2	Верхнее Боковое	3473,96 -5604,01	2996,4 -5515,0	2523,8 -5427,0	2048,7 -5339,0	1576,5 -5245,0	1117,70 -5150,00
2,5	Верхнее Боковое	3765,94 -5433,02	3278,3 -5350,0	2791,7 -5263,0	2308,5 -5174,0	1826,2 -5079,0	1356,30 -4980,00
3	Верхнее Боковое	4017,40 -5307,03	3518,8 -522,0	3023,0 -5141,0	2534,7 -5051,0	2052,8 -4952,0	1579,30 -4843,00

Выводы

Результаты параметрического анализа напряженного состояния скального грунта в окрестности выработки гидротехнического туннеля круговой формы сечения показывают, что на напряженное состояние оказывает влияние анизотропия упругих свойств скального массива. Следовательно, при проектировании подземных сооружений необходимо более детально определять физико-механические свойства скальных грунтов, уделяя особое внимание упругим характеристикам.

Библиографический список

1. СНиП 2.06.09-84. Туннели гидротехнические. – М.: Госстрой СССР, 1985. – 19 с.
2. СНиП 2.02.02-85*. Основания гидротехнических сооружений. – М.: Госстрой СССР, 1985. – 45 с.
3. Лехницкий С. Г. Теория упругости ани-

зотропного тела. – М.: Наука, 1977. – 416 с.

Материал поступил в редакцию 27.01.2016.

Сведения об авторах

Баутдинов Дамир Тахирович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Техническая и строительная механика»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550 г. Москва, ул. Прянишникова, д.19; тел.: +7 (499) 976-33-44; e-mail: damir.tt1@mail.ru.

Атабиев Умар Исхакович, инженер, аспирант кафедры «Гидротехнические сооружения», ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550 г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44; тел.: +7 (499) 976-33-44; +7 (499) 976-00-30; +7 (499) 976-04-28; e-mail: a_omar@mail.ru.

D. T. BAUTDINOV, U. I. ATABIEV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

STRESSED STATE OF THE TRANSVERSALLY ISOTROPIC ROCKS CLOSE TO A HEAD HYDROTECHNICAL TUNNEL OF A CIRCULAR FORM SECTION

In the article there is given a parametric analysis of the stressed state of the transversely isotropic rock near the pressurized hydraulic tunnel of circular cross-section shape from the inner water pressure which are prevalent in the field of hydraulic engineering construction and are one of the most complex, effortful and expensive types of facilities that are part of the main structures of waterworks, irrigation and drainage and water supply systems. As culvert and water conveyance structures they are built underground in those cases where open excavation of soils is not possible or not economical, when the tunnel route passes through densely populated or densely built-up area or where there are possible landslides, slide-rocks, rockslides. There are determined tangential stresses on the contour of the hydro-technical tunnel making at different ratios of deformation modulus and Poisson's ratios, allowing estimate the strength of the soil mass at various depths of the tunnel laying. Calculation of the hydro technical tunnel of a great length laid in the hard, transversely isotropic rocks is reduced to the problem of plane deformation of the elasticity theory for the transversally isotropic medium containing a tunnel output. As the solution of such a task is impossible by analytical methods the stressed state analysis was performed by the finite element method using the ANSYS software. Preliminarily there were determined dimensions and type of the element suitable for calculations on the basis of the test problem solution. As a test problem for the calculation of the tunnel of a circular form section on the internal water pressure there was used the Lamé problem for isotropic thick-walled cylinder under uniform external and internal pressure.

Трансверсально-изотропная среда, теория упругости, плоская деформация, модуль деформаций, коэффициент Пуассона.

References

1. Tunneli gydrotehnicheskiye. SNiP 2.06.09-84. – М.: Gosstroy SSSR, 1985. – 19 s.
2. Osnovaniya hydrotehnicheskikh sooruzhenij. SNiP 2.02.02-85*. – М.: Gosstroy SSSR, 1985. – 45 s.
3. Lekhnitsky S. G. Teoriya uprugosti anizotropnogo tela. – М.: Nauka, 1977. – 416 s.

Received on 27.01.2016.

Information about the authors

Bautdinov Damir Takhirovich, candidate of technical sciences, senior lecturer

of the chair «Technical and structural mechanics»; FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550 Moscow, ul. Pryanishnikova, 19; tel. .: +7(499)976-33-44; e-mail: damir.tt1@mail.ru.

Atabiev Umar Iskhakovich, engineer, post graduate of the chair «Hydraulic structures», FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550 Moscow, ul. Bolshaya Akademicheskaya, 44; tel. .: +7(499)976-33-44; +7(499)976-00-30; +7(499)976-04-28; e-mail: a_omar@mail.ru.

УДК 502/504:628.113:551.444:628.3

А. В. ЕВГРАФОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

И. М. ЕВГРАФОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ИСТОЩЕНИЯ ПРИ ЗОЛОТОДОБЫЧЕ ЗАКРЫТЫМ СПОСОБОМ

В работе предложены мероприятия по охране гидросферы при развитии золотодобывающего комплекса месторождения «Биркачан» Магаданской области. Установлено, что основная нагрузка на гидросферу осуществляется посредством водоотведения. Основные виды сточных вод при данном виде деятельности: хозяйственно-бытовые; поверхностные; карьерные и шахтные. Хозяйственно-бытовые воды наносят минимальный вред окружающей среде ввиду малого расхода и очистки по требуемых норм. Поверхностный сток формируется на двух участках месторождения, отводится и очищается в отстойнике карьерных вод. Выявлено, что в период отработки месторождения подземным способом в выработанное пространство карьера поступают карьерные воды, образованные ранее при открытом способе, поверхностный сток с прилегающей территории, подземный водоприток, шахтные воды. Данные воды аккумулируются в водосборнике карьерных вод и далее перекачиваются на поверхность в отстойник. Химический состав карьерных вод обусловлен качеством атмосферных осадков и подземных вод. Содержание загрязняющих веществ в подземных водах не превышает ПДК для хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного водопользования. В карьерных водах превышены концентрации взвешенных веществ и нефтепродуктов.

Охрана окружающей среды, экологический мониторинг, сточные воды, золотодобыча, горные выработки.

Введение. При развитии известных месторождений полезных ископаемых встает вопрос по охране и рациональному использованию водных ресурсов, в связи с чем, выполненные исследования для

месторождения «Биркачан» являются актуальными. Месторождение расположено в Северо-Эвенском районе Магаданской области, в 360 км севернее районного центра п. Эвенск. По состоянию на

декабрь 2014 год территория месторождения Биркачан используется для добычи золотосодержащей руды. Здесь уже выполнены значительные строительные и планировочные работы. Сооружен карьер, отсыпаны отвалы вскрышных пород, склады «бедной» руды, дороги, вододерживающие дамбы, штабели кучного выщелачивания, построен временный вахтовый поселок, склады горючесмазочных и взрывчатых материалов. Добытая руда вывозится на золотоизвлекательную фабрику (ЗИФ) рудника «Кубака».

Материалы и методы исследований. Мероприятия по защите гидросферы разрабатывались с учетом современных нормативно-правовых документов [1–4]. В настоящее время предприятие имеет один выпуск сточных вод в ручей Биркачан. В процессе подземной отработки будут образовываться следующие виды сточных вод: хозяйственно-бытовые; поверхностные-дождевые и талые; карьерные; шахтные.

Хозяйственно-бытовые сточные воды. Хозяйственно-бытовые сточные воды от рамуойников и уборки помещений собираются в пластиковые емкости и вывозятся на существующие очистные сооружения бытовых сточных вод месторождения «Биркачан» и сбрасываются после очистки по трубопроводу из организованного выпуска в реку Верхний Биркачан выше устья ручья Мизинец. По расчетам расход хозяйственно-бытовых стоков составит 45,6 м³/год, 0,125 м³/сут.

Водоотведение дождевых и талых сточных вод с приштольневых площадок. Отвод поверхностного стока с приштольневой площадки Северо-Восточного участка месторождения осуществляется с помощью канав в аккумулирующую емкость дождевых сточных вод, откуда отстоянные сточные воды вывозятся автотранспортом в отстойник карьерных вод. Среднегодовой объем поверхностных сточных вод с приштольневой площадки штольни составляет 863 м³/год, в том числе 283 м³/год дождевого стока и 580 м³/год талого стока. Отвод поверхностного стока с приштольневой площадки Юго-Западного участка месторождения осуществляется канавами в отстойник карьерных вод. Среднегодовой объем поверхностных сточных вод с данной площадки составляет 510 м³/год, в том числе 167 м³/год дождевого стока и 343 м³/год талого стока.

Карьерные воды. В период отработки месторождения «Биркачан» под-

земным способом в выработанное пространство карьера поступают, как и ранее образующиеся в период отработки открытым способом, карьерные воды, состоящие из дождевых и талых вод с прилегающей к карьеру территории и вод за счет подземного водопритока, так и шахтные воды, образующиеся впервые. После сбора в карьере, данные воды поступают в отстойник карьерных вод. Шахтные воды поступают в карьер из подземного рудника. Вода откачивается сначала через штольню № 1 Северо-Восточного участка в водосборник карьерного водоотлива, затем, через штольню № 3 Юго-Западного участка месторождения, так же, в водосборник карьерного водоотлива. Притоки подземных (шахтных) вод в подземные горные выработки на конец отработки рудника составят для Северо-Восточного участка 12 м³/ч, для Юго-Западного участка – 7,5 м³/ч.

Вода из систем шахтных водоотливов Северо-Восточного и Юго-Западного участков рудника направляется в водосборник карьерных вод карьера, откуда вместе с карьерной водой с помощью существующей насосной станции карьерного водоотлива откачивается в отстойник на поверхности.

Во время отработки месторождения образуются поверхностные сточные воды (дождевые и талые) с приштольневых площадок штольни № 2 (Северо-Восточный участок) и штольни № 4 (Юго-Западный участок). Поверхностные сточные воды с приштольневых площадок поступают с территорий, примыкающих к штольням, в отстойник от штольни № 2 из аккумулирующей емкости дождевых сточных вод, откуда отстоянные сточные воды вывозятся в отстойник автотранспортом, а от штольни № 4 – самотеком.

Максимальный расчетный расход карьерных вод, с учетом поверхностного стока приштольневых площадок, поступающий в отстойник № 1, составляет на конец отработки подземного рудника – 443 м³/ч. Расчетное время подачи максимального расхода – 14,8 ч. в сутки в течение одних суток. Максимальный расчетный расход очищенных вод, поступающих из отстойника № 1 в ручей Мизинец, составляет 270 м³/ч. Расчетный среднесуточный расход, протекающий через отстойник № 1 во время снеготаяния – 139 м³/ч. Расчетный среднесуточный расход, протекающий через отстойник, в летний период составляет 157 м³/ч, в зимний период – 29 м³/ч.

Объединенные в отстойнике № 1

сточные воды, включающие в себя карьерные воды, образованные атмосферными осадками и подземным водопритоком, шахтные воды и дождевые и талые воды с приштольневых площадок, в течение теплого времени года (расчетный период 153 сут) после очистки в отстойнике отводятся в руч. Мизинец. Так же, в период существования стока с мая по октябрь (расчетный период 184 сут), в руч. Мизинец отводятся подземные воды. В течение шести зимних месяцев сток в ручье отсутствует и сброс подземных сточных вод становится невозможен. В этот промежуток времени осуществляется вывоз подземных сточных вод в хвостохранилище ГОКа Кубака с помощью автотранспорта.

Результаты исследований

Характеристика сточных вод

Поверхностные (дождевые и талые) воды с территории приштольневых площадок. Определение качественной характеристики сточных вод выполнено в соответствии с [5]. Для сбора и отстаивания поверхностного (дождевого и талого) стока с приштольневой площадки штольни № 2 (Северо-Восточный участок) предусматривается аккумулирующая емкость дождевых сточных вод. Концентрация загрязнений поверхностных сточных вод принята по взвешенным веществам 500 мг/л,

по нефтепродуктам – 10 мг/л. Отстоянные поверхностные сточные воды вывозятся в отстойник карьерных вод.

Отвод поверхностного стока с приштольневой площадки Юго-западного участка (штольня № 4) осуществляется системой канав в отстойник карьерных вод. Химический состав карьерных вод, обусловленный качеством атмосферных осадков и подземных вод [6].

Подземные воды в районе площадки карьеров характеризуются, согласно результатам исследований, содержанием химических веществ, не превышающим ПДК для вод водных объектов хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного водопользования, а по некоторым ингредиентам концентрации веществ значительно ниже вышеупомянутых нормативов.

Карьерные воды характеризуются повышенными концентрациями взвешенных веществ и нефтепродуктов. Шахтные и карьерные воды после сбора в карьере направляются на очистку в отстойник карьерных вод, где, в свою очередь, перемешиваются с поступающими туда же дождевыми и талыми водами с приштольневых площадок. Состав общих сточных вод после смешивания в отстойнике при отработке Северо-Восточного и Юго-Западного участков месторождения показан в таблице 1.

Таблица 1

Усредненный состав сточных вод, направляемых на очистку при отработке Юго-Западного участка месторождения, мг/л

Показатели	Концентрация веществ в сточных водах					ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения, мг/л
	Карьерные воды	Шахтные воды	Дождевые и талые с приштольной площадки СВ участка	Дождевые и талые с приштольной площадки ЮЗ участка	Общие сточные воды при смешивании	
Взвешенные вещества	148,0	–	100	500	135,0	+0,25 к фону 11,05
Нефтепродукты	1,36	–	1,0	10	1,24	0,05
pH	7,21	8,22	– **	– **	7,3	6,5...8,5
Сухой остаток	221,6	132	– **	– **	215	1000
ВПК _{полн}	1,46	– **	– **	– **	1,59	3,0
Хлорид-анион	3,36	51,7	– **	– **	8,26	300
Железо	0,04	0,087	– **	– **	0,044	0,1
Натрий	– **	36,95	– **	– **	112,8	120
Магний	– **	0,796	– **	– **	36,47	40
Калий	– **	2,724	– **	– **	45,74	50
Кальций	– **	4,522	– **	– **	164,2	180
Аммоний-ион	< 0,05	0,195	– **	– **	0,06	0,4
Нитрат-анион	1,0	0,145	– **	– **	1,0	40
Нитрит-анион	0,02	0,02	– **	– **	0,02	0,08

Примечания: * – ПДК для питьевой воды согласно СанПиН 2.1.4.1074-01; ** – величина, соответствующая ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения.

Очистка сточных вод. Для сбора и отстаивания дождевого и талого стока с при-

штольневой площадки штольни № 2 (Северо-Восточный участок) предусматривается

аккумулирующая емкость дождевых сточных вод (200 м³). Эффект снижения концентраций по взвешенным веществам и нефтепродуктам после двух суточного отстаивания составит 80...90 %.

Система очистки сточных вод, образующихся при подземной отработке месторождения «Биркачан» включает двухсекционный отстойник с фильтрующей дамбой. Отстойник является существующим объектом и предназначен для осветления карьерных, шахтных вод и дождевого и талого стока приштольневых площадок СВ и ЮЗ участков месторождения. Отстойник выполнен в полувыемке - полунасыпи и разделен фильтрующей дамбой на две емкости. Общая площадь, занятая отстойником, – 2 га. Первая емкость отстойника – собственно отстойник – имеет размеры по дну 50х100 м. Глубина отстойника – 5,5 м. Глубина воды – 2,0...5,0 м. 0,5 м – запас до гребня дамбы. Толщина слоя осадка, выпадающего на дно за период эксплуатации, не более – 0,1 м. Вторая емкость служит для обеспечения пропускной способности фильтрующей дамбы. Размеры по дну 5х50 м. Высота фильтрующей дамбы 5,0 м. Заложение верхового откоса 1 : 3. Заложение низового откоса 1 : 1,5. Тело фильтрующей дамбы выполнено из камня со средней крупностью частиц – 100 мм. На верховой откос уложен поддерживающий слой с крупностью частиц 2...10 мм. Толщина слоя – 0,5 м. На поддерживающий слой уложен слой шлака угольной котельной. Толщина слоя – 1 м. Сверху уложен слой песка крупностью 1...2 мм. Толщина песчаного слоя фильтра – 1 м.

Предусматривается очистка карьерных и шахтных вод совместно с поверхностным стоком приштольневых площадок от взвешенных веществ и нефтепродуктов. Необходимая глубина очистки вод, сбрасываемых в водоприемник, достигается путем отстоя в емкости отстойника и прохождения через фильтрующую дамбу. Эффект снижения концентрации взвешенных веществ и нефтепродуктов при отстаивании в течение 1...2 суток составляет 80...90 %. Среднее время отстаивания в отстойнике состав-

ляет 10...12 суток, минимальное – 5 суток (при максимальном притоке в отстойники в течении одних суток в год) [7].

Изменения концентрации загрязняющих веществ в сточных водах по мере проведения очистки приведены в таблице 2. Из отстойника очищенные сточные воды по водосборной канаве поступают в ручей Мизинец.

Выводы

Все виды сточных вод перед сбросом их в природные водотоки проходят через очистные сооружения, обеспечивающие их качество, соответствующее требованиям, предъявляемым к водным объектам рыбохозяйственного водопользования.

Бытовые стоки направляются на существующие очистные сооружения бытовых сточных вод месторождения «Биркачан». Дождевые сточные воды с приштольневой площадки штольни № 2 при отработке Северо-Восточного участка месторождения отводятся в аккумулирующую емкость дождевых вод и далее, в отстойник. Дождевые сточные воды с приштольневой площадки штольни № 4 при отработке Юго-Западного участка месторождения автотранспортом доставляются в отстойник. Карьерные воды образуются в карьере № 1 в количестве 664,344 тыс. м³ в год и откачиваются в отстойник. Шахтные воды из систем шахтных водоотливов Северо-Восточного и Юго-Западного участков рудника направляются в водосборник карьерных вод карьера № 1, откуда, вместе с карьерной водой, откачиваются в отстойник:

Соблюдение мероприятий по охране водного бассейна и рациональному использованию водных ресурсов, а также производственный контроль качества отводимых сточных вод обеспечит минимальное воздействие горнодобывающего предприятия на водные объекты в районе его расположения.

Библиографический список

1. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей, утв. Приказом МПР России от 17.12.2007 г., №333 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.promecovod.ru/tseny?id=75> (Дата обращения 05.04.2016).
2. Нормативы качества воды водных объ-

Таблица 2

Эффективность очистки сточных вод

Наименование загрязняющих веществ	Максимальная концентрация загрязняющих веществ, мг/л.			Эффект очистки, %
	до очистки	после отстаивания	после фильтрующей дамбы	
Взвешенные вещества	140	20	10	93
Нефтепродукты	1,4	0,2	0,05	97

ектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектах рыбохозяйственного значения. Приказ Роскомрыболовства от 18.01.2010 г. № 20 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.airsoft-bit.ru/pervichnye-pokazateli-opasnosti/338-pr-rosrib-20-18-01-2010> (Дата обращения 05.04.2016).

3. СП 2.1.5.1059-01. Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения. утв. 16.07.01 г., № 19 [Электронный ресурс]. – URL: <https://yandex.ru/search/?text=%D0%A1%D0%9F%202.1.5.1059-01.%20&lr=213&clid=2186617> (Дата обращения 05.04.2016).

4. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод [Электронный ресурс]. – URL: <http://files.stroyinf.ru/Data1/8/8514/> (Дата обращения 05.04.2016).

5. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определения условий выпуска его в водные объекты» ФГУП ВНИИ «ВОДГЕО [Электронный ресурс]. – URL: https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fgenplan.pro%2Fbiblioteka_%2F12_rekomendacii%2Frekomendacii_fgup-niivodgeo.doc&name=rekomendacii_fgup-nii-vodgeo.doc&lang=ru&c=5703bcffc369 (Дата обра-

щения 05.04.2016).

6. Сенющенкова И. М. Мониторинг поверхностных и родниковых вод городских оврагов // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4–2. – С. 147–154.

7. Евграфов А. В., Никитенков Б. Ф. Оценка возможностей водозабора с использованием ГИС // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2013. – № 2. – С. 28–35.

Материал поступил в редакцию 24.06.2015.

Сведения об авторах

Евграфов Алексей Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Общей и инженерной экологии»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550 г. Москва, ул.Прянишникова, д.19; тел.: 8(499)190-53-43; e-mail: evgrafov-aleksey@mail.ru

Евграфова Ирина Михайловна, доктор технических наук, профессор кафедры «Инженерная геология и геоэкология»; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26; e-mail: irina-sen811@yandex.ru

A. V. EVGRAFOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

I. M. EVGRAFOVA

The Federal state budget educational institution of higher education
«The National research Moscow state building university», Moscow

MEASURES ON PROTECTION OF SURFACE AND GROUND WATER FROM CONTAMINATION AND EXHAUSTION UNDER GOLD MINING BY A CLOSED TECHNIQUE

The paper proposes measures on hydrosphere protection under development of the gold mining complex of field «Birkachan» of the Magadan region. It is established that the main load on the hydrosphere is done by water drainage. The main types of waste water in this type of activity are economic-domestic; surface; open pit and mine. Economic-household water cause minimal damage to the environment due to low consumption and cleaning according to the required standards. The surface runoff is formed in two parts of the field, removed and treated in the pit water settling tank. It was found that during the deposit development by the underground method the pit water formed earlier by the open method, surface runoff from the adjacent area, ground water inflow, mine water come to the worked-out space. This water is accumulated in the pit water reservoir and then pumped to the surface to the settling tank. The chemical composition of pit water depends on the quality of precipitation and ground water. The content of pollutants in groundwater does not exceed the maximum allowable concentrations for economic-drinking water and fisheries. Concentration of suspended solids and oil products in the quarry water are exceeded.

Environmental protection, ecological monitoring, waste water, gold mining, mine workings.

References

1. Metodika razrabotki normativov dopustimyh sbrosov veshchestv I mikroorganizmov v vodnye objekty dlya vodo-poljzovatelej, utv. Priказom MPR Ros-sii ot 17.12.2007 r., № 333 [Elektronny resurs]. – URL: <http://www.promecovod.ru/tseny?id=75> (Data obrashcheniya 05.04.2016).

2. Normativy kachestva vody vodnykh objektov rybohozyajstvennogo znacheniya, v tom chisel normativy predeljno dopustimyh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodah vodnykh objektov rybohozyajstvennogo znacheniya. Priказom Roskomrybolovstva ot 18.01.2010 g., № 20 [Elektronny resurs]. – URL: <http://www.airsoft-bit.ru/pervichnye-pokazateli-opasnosti/338-pr-rosrib-20-18-01-2010> (Data obrashcheniya 05.04.2016).

3. Gigienicheskiye trebovaniya k ohrane podzemnykh vod ot zagryazneniya. CII 2.1.5.1059-01, utv. 16.07.01 g., № 19 [Elektronny resurs]. – URL: <https://yandex.ru/search/?text=%D0%A1%D0%9F%202.1.5.1059-01.%20&lr=213&clid=2186617> (Data obrashcheniya 05.04.2016).

4. Gigienicheskiye trebovaniya k ohrane poverhostnykh vod. SanPiN 2.1.5.980-00 [Elektronny resurs]. – URL: <http://files.stroyinf.ru/Data1/8/8514/> (Data obrashcheniya 05.04.2016).

5. Rekomendatsii po raschetu system sbora, otvedeniya I ochistki poverhostnogo stoka s selitebnykh territorij, plosh-

chadok predpriyatij I opredeleniya uslovij vypuska ego v vodnye objekty” FGUP VNII “VODGEO” [Elektronny resurs]. – URL: https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fgenplan.pro%2Fbiblioteka_%2F12_rekomendacii%2Frekomendacii_fgup-nii-vodgeo.doc&name=rekomendacii_fgup-nii-vodgeo.doc&lang=ru&c=5703bcffc369 (Data obrashcheniya 05.04.2016).

Received on 24.06.2015.

Information about the authors

Evgrafov Alexey Victorovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «General and engineering ecology»; FSBEI HE FSAU-MTAA; 127550 Moscow, ul. Pryanishnikova, 19; tel.: 8(499)190-53-43; e-mail: evgrafov-aleksey@mail.ru.

Evgrafova Irina Mikhailovna, doctor of technical sciences, professor of the chair «Engineering geology and geoecology»; The Federal state budget educational institution of higher education «The National research Moscow state building university» (NIU MGSU), 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26; e-mail: irina-sen811@yandex.ru.

УДК 502/504:556.16

И. В. ПРОШЛЯКОВ, Г. Х. ИСМАЙЛОВФедеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

К ТЕОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ДОЖДЕВОГО СКЛОНОВОГО СТОКА

Цель работы – совершенствование теоретических представлений о процессах формирования дождевого стока со склонов и разработка на этой основе инженерных методов определения расчетных характеристик максимального стока при создании противоэрозионных гидротехнических сооружений на склонах и в первичной русловой сети. Формирование склонового стока рассматривается как результат детерминированно-стохастических процессов выпадения дождевых осадков, инфильтрации части дождевых осадков в почву и стекания по склону невпитавшейся воды. Представлена методика определения статистических характеристик потенциально образующих сток дождей (со слоем более 10-ти мм), таких как суммарный слой, продолжительность выпадения, интенсивность за различные промежутки времени. Методика основана на имитационном моделировании нестационарного случайного процесса интенсивности выпадения дождей. Она реализуется с помощью фактических безразмерных реализаций нарастания слоя выпавших в течении дождя осадков, полученных по данным ближайших метеостанций. Сформулирована весьма правдоподобная качественная картина впитывания воды в почву и процесса водоотдачи склонов при поверхностном стокообразовании. Приведено аналитическое выражение инфильтрационной способности склона в период выпадения дождя, учитывающее начальное (перед дождем) увлажнение верхнего 10-см слоя почвы. Для вероятностной оценки начального увлажнения почвы предлагается двусторонне ограниченное нормальное распределение. Верхний и нижний пределы колебаний случайной величины начального увлажнения и другие параметры распределения (среднее и среднеквадратическое) определяются по водно-физическим свойствам почвы или по данным наблюдений за влажностью на метеостанциях рассматриваемого района. На основе модели кинематической волны и кривых распределений характеристик водоотдачи предложена методика определения обеспеченности максимальных расходов склонового стока, учитывающая оценку вероятности «действующей» длины склона в формировании рассматриваемого максимума. Сопоставление модулей максимальных расходов, полученных по предлагаемой схеме их определения с нормативными максимумами, показало, что последние завышены на 20...40 % при обеспеченности 5 % и 40 % соответственно. При обеспеченности 1 % они практически совпадают.

Максимальный дождевой сток, влажность почвы, статистические характеристики стокообразующих осадков, интенсивность дождя, впитывание, склоновый сток.

Введение. Проектирование гидротехнических и других инженерных сооружений на склонах и в первичной гидрографической сети требует ответа на вопрос о расчетных значениях характеристик склонового стока, в частности, о максимальных расходах. При этом согласно [1] под расчетным расходом воды понимается расход воды заданной вероятности превышения (обеспеченности), принимаемый в качестве исходного значения для определения размеров проектируемого сооружения. Поэтому гидрологический расчет характеристик стока, имеющих

вероятностную природу колебаний во времени, приобретает законченный вид, когда каждому возможному значению определяемой, характеристики будет поставлена в соответствие ежегодная вероятность превышения этого значения.

Повторяемость максимальных расходов дождевого склонового стока в большинстве существующих инженерных методов расчета, в том числе нормативных [1], принимается равной повторяемости максимальной интенсивности осадков за интервал времени, равный времени склонового добега. В зависимости от

положения этого интервала внутри периода выпадения дождя, а также в зависимости от начального увлажнения почвы, потери стока, учитываемые в существующих формулах коэффициентом стока («сборным коэффициентом стока») будут не постоянными, в общем случае представляя случайную величину с определенным законом распределения. Поэтому использование на практике максимальной интенсивности осадков различной повторяемости приводит к утрате представлений об обеспеченности вычисленных максимальных расходов. Другим допущением при оценке обеспеченности максимальных дождевых расходов является предположение, что в формировании расчетного максимального расхода всегда (с вероятностью равной единице) участвует вся площадь водосбора (длина склона), или же ее определенная постоянная часть, учитываемая весьма условно с помощью коэффициентов «редукции» стока или осадков. Такое допущение нуждается в статистическом обосновании.

Общая постановка. Генетический подход к определению параметров склонового стока предполагает определение расчетных характеристик случайного процесса водоотдачи склонов, таких как средняя интенсивность за конкретные промежутки времени, продолжительность, суммарный слой и др. Под интенсивностью водоотдачи понимается разность между интенсивностью дождя i и интенсивностью суммарных потерь K (на впитывание и поверхностное задержание) при образовании склонового стока, то есть $a = i - K$. Случайность процесса водоотдачи склонов прямо связана со случайным характером выпадения дождевых осадков во времени. Однако это не исключает наличия детерминированных взаимосвязей между его отдельными составляющими - интенсивностью осадков и интенсивностью потерь, несмотря на их вероятностную природу. Это диктует необходимость рассматривать водоотдачу склонов как детерминированно-стохастический процесс [2].

При подходе к изучению и расчетам стокообразующих процессов следует учитывать качественное их своеобразие в различных физико-географических условиях. В настоящей работе рассматривается классический случай формирования стока,

вызванного превышением интенсивности дождя над интенсивностью потерь и происходящего поверхностным путем. Этот вид стока («подвешенный» [3]) широко распространен на слабопроницаемых поверхностях с глубоким залеганием уровня грунтовых вод, в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения с повышенной эрозионной деятельностью дождевых вод.

Материалы и методы исследований.

На основании анализа экспериментальных данных по искусственному дождеванию была получена необходимая для расчета водоотдачи обобщенная модель интенсивности суммарных потерь при образовании поверхностного стока на склонах:

$$K = \begin{cases} i & \text{при } i < K_{mi}, \\ K_{mi} & \text{при } i \geq K_{mi}, \end{cases} \quad (1)$$

где K - интенсивность потерь, мм/мин; i - интенсивность дождя, мм/мин; K_{mi} - инфильтрационная способность (максимально возможная интенсивность потерь для данной интенсивности дождя).

Величина инфильтрационной способности конкретного вида стокообразующей поверхности в произвольный момент времени от начала дождя K_{mi} , входящая в (1), определяется по уравнению:

$$K_{mi} = K_0 \left(1 - e^{-\frac{i}{K_0}} \right) + a e^{-b\theta} / H_k^c, \quad (2)$$

где K_0 - коэффициент фильтрации при неограниченной интенсивности поступления осадков ($i = \infty$) мм/мин; θ - начальная влажность почвы, характеризующаяся влагозапасом в верхнем 10-сантиметровом слое, мм; H_k - слой впитавшихся к моменту времени t осадков, мм; a, b, c - параметры, зависящие от генетического типа почвы, степени ее эродированности и характера сельскохозяйственного использования; e - основание натуральных логарифмов.

В уравнении (2) величина $K_0(1 - e^{-i/K_0})$ представляется собой предельный минимум впитывания, устанавливающийся при длительном течении процесса инфильтрации или при инфильтрации в исходно насыщенную почву, когда основную роль играют гравитационные силы. Фактор $(1 - e^{-i/K_0})$ отражает влияние интенсивности дождя на установившийся коэффициент фильтрации и по смыслу характеризует относительную величину инфильтрующей площади при капельном поступлении на увлажненный до состояния насыщения верхний слой почвы [4].

Второй член уравнения (2) учитывает уменьшение во времени инфильтрационной способности почвы

по мере ее насыщения вследствие уменьшения капиллярно-сорбционного потенциала, значение которого для данного типа поверхности косвенно характеризуется влажностью почвы θ и слоем впитавшихся к рассматриваемому моменту времени осадков H_k .

В свете выполненных полевых экспериментов, а также анализа теоретических моделей инфильтрации как главного элемента потерь стока, качественная картина процесса впитывания во время дождя представляется следующей. В начальный период дождя, после завершения в основном процесса перехвата осадков растительным покровом, очагами инфильтрации являются места падения капель на поверхность. В этих местах происходит мгновенное насыщение почвы и быстрое (до попадания в это же место следующей капли) поглощение и перераспределение влаги из-за громадных градиентов влажности в тонком поверхностном слое. Инфильтрационная способность в этот начальный момент чрезмерно велика и, как правило, превышает реальные значения интенсивности дождя; поэтому фактическая интенсивность впитывания ограничена и равна интенсивности дождя. Средняя влажность на поверхности при этом меньше влажности насыщения и тем больше, чем больше интенсивность дождя. До тех пор, пока влажность поверхности остается меньше насыщения, скорость впитывания определяется интенсивностью дождя $K = i$, и поверхностный сток возникнуть не может, то есть наблюдается фаза свободной инфильтрации.

Как только средняя влажность на поверхности становится равной влажности насыщения (по мере развития процесса или в результате увеличения интенсивности дождя), возникают условия для образования стока за счет превышения интенсивности дождя над инфильтрационной способностью, которая, в свою очередь, определяется градиентом влажности на поверхности, уменьшающимся по мере насыщения почвы.

При длительном течении процесса инфильтрации (или при выпадении дождя на сильно увлажненную почву) градиент влажности на поверхности становится бесконечно малым, основную роль играют не капиллярно-сорбционные, а гравитаци-

онные силы, вследствие чего процесс приобретает стационарный характер, определяемый соотношением интенсивности дождя и коэффициента влагопроводности верхнего насыщенного слоя почвы в соответствии с первым слагаемым в правой части уравнения (2).

Значения параметров K_0 , a , b , c в уравнении (2) для некоторых видов поверхностей склонов приведены в работе [2]. Модель интенсивности водоотдачи a , учитывая (1), имеет следующий вид:

$$a = \begin{cases} 0 & \text{при } i \leq K_{mi}, \\ i - K_{mi} & \text{при } i \geq K_{mi}. \end{cases} \quad (3)$$

Зная значение начальной влажности θ для определенного вида поверхности, а также динамику конкретного дождя, представленную в результате обработки плювиограммы последовательностью осредненных за малый интервал времени интенсивностей $\bar{i}_j (j = \overline{1, n})$ можно, используя выражения (1)–(3) получить гидрограф водоотдачи $\bar{a}_j (j = \overline{1, n})$. При этом все или часть значений $\bar{a}_j$ могут иметь нулевые значения, то есть гидрограф водоотдачи в общем случае имеет разрывной характер, состоящий из r тактов. Располагая гидрографом водоотдачи, легко определить по нему такие элементы как слой и продолжительность l -го такта водоотдачи: H_{a1}^1 и T_{a1}^1 – суммарные значения продолжительности и слоя водоотдачи за время дождя; H_a и T_a ; максимальные за заданный интервал времени τ значения интенсивности водоотдачи $\bar{a}_{m\tau}$ и ряд других характеристик, представляющих интерес при расчетах стока.

Преобразование гидрографа водоотдачи в гидрограф стока (притока к сооружению) под влиянием бассейнового регулирования осуществляется с помощью простого оператора скользящего осреднения по максимальному времени бассейнового (склонового) добегания τ_m .

$$Q_j = \frac{1}{\tau_m} \sum_{j=\tau_m}^{j+\tau_m} Q_{aj}, \quad (4)$$

где Q_j и Q_{aj} – расчетные расходы стока и водоотдачи в j -ом интервале времени $Q_{aj} = \bar{a}_j F$; F – площадь водосбора.

Количественная оценка точности методик расчета слоев стока (водоотдачи) H_a и максимальных расходов воды за паводок Q_m , произведенная для 37 паводков на 3-х водотоках с помощью критерия

применимости и качества метода S_0/σ (где S_0 – средняя квадратическая ошибка расчета; σ – среднее квадратическое отклонение от нормы, позволяют считать методику хорошей; $S_0/\tau = 0,18...0,40$).

Описанная модель преобразования осадков в водоотдачу относится к классу детерминистических моделей, поскольку в ней условия, определяющие численных результат (начальная влажность почвы, продолжительности и динамика дождя), предполагаются заранее известными. Поскольку указанные условия имеют вероятностный смысл, наибольший практический интерес представляет получение статистических характеристик отдельных элементов случайного процесса водоотдачи.

Аналитическое описание нестационарного случайного процесса выпадения дождей $\tilde{i}(\tau)$ и преобразование его с помощью модели (1)–(3) в случайный процесс водоотдачи встречает серьезные затруднения. Поэтому предлагается численный подход, суть которого состоит в следующем.

Случайные факторы, определяющие динамику отдельных реализаций процесса водоотдачи, такие как начальная влажности почвы θ , слой H и продолжительность T дождя многократно моделируются методом Монте-Карло, исходя из совместной плотности распределения $\varphi(\theta, \mu, \nu)$ (где μ и ν – нормализованные значения величин H и T). При этом рассматриваются лишь «стокообразующие» дожди с $H \geq 10$ мм. В качестве нормализующих функций для H и T использованы следующие соотношения

$$\mu = \lg(H - a);$$

$$\nu = T^{1/3},$$

где a – параметр, который изменяется в пределах 7,0...8,5.

Величина θ имеет двусторонне ограниченный закон распределения с плотностью вероятностей

$$\varphi(\theta) = \begin{cases} \varphi_1(\theta) & \text{при } \theta_{\min} < \theta < \theta_{\max}, \\ C_1 \delta(\theta - \theta_{\min}) & \text{при } \theta = \theta_{\min}, \\ C_2 \delta(\theta - \theta_{\max}) & \text{при } \theta = \theta_{\max}, \\ 0 & \text{при } \theta > \theta_{\max} \text{ или } \theta < \theta_{\min}, \end{cases} \quad (5)$$

где $\varphi_1(\theta)$ – плотность нормального распределения начальных влагозапасов в интервале $(-\infty; +\infty)$; δ – символ дельта-функции; C_1 и C_2 – параметры, характеризующие степень ограничения в точках $\theta = \theta_{\min}$ и $\theta = \theta_{\max}$,

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(\theta) d\theta = \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \varphi_1(\theta) d\theta + C_1 + C_2 = 1.$$

Пределы колебания $\theta_{\min} = \theta_{\text{мг}}$, а $\theta_{\max} = (0,90...0,95)\theta_{\text{пв}}$ для необрабатываемых поверхностей и $\theta_{\max} = \theta_{\text{пв}}$ – для обрабатываемых (здесь $\theta_{\text{мг}}$, $\theta_{\text{пв}}$, $\theta_{\text{нв}}$ – соответственно запасы влаги в 10-см слое почвы при максимальной гигроскопичности, полной влагоемкости и наименьшей влагоемкости. По ориентировочным подсчетам степень усечения составляет примерно 0,5...3,0 %, то есть лишь это количество значений θ относится к предельным влагозапасам.

Сведения об H , T и θ могут быть получены по данным наблюдений на ближайших метеостанциях. При отсутствии данных наблюдений за влагозапасами накануне дождя с $H > 10$ мм, без больших погрешностей можно использовать (в условия глубокого залегания грунтовых вод) следующие соотношения для определения параметров $\bar{\theta}, \sigma_{\theta}$:

а) луговая поверхность (пастбища и сенокосы)

$$\bar{\theta} = 0,57\theta_{\text{пв}};$$

$$\sigma_{\theta} = 0,26\bar{\theta};$$

б) обрабатываемая поверхность под сельскохозяйственными культурами

$$\bar{\theta} = 0,50\theta_{\text{пв}};$$

$$\sigma_{\theta} = 0,23\bar{\theta}.$$

Результаты исследований. Динамика дождей описывается с помощью достаточно большого набора (равного числу зарегистрированных плювиографами данного района дождей с $H \geq 10$ мм) хранящихся в памяти ЭВМ безразмерных реализаций случайного процесса нарастания слоя дождя во времени:

$$H_t/H = f(t/T), \quad (6)$$

где H_t – слой осадков за время $t \leq T$; H – суммарный слой дождя.

Кривые (6), являясь моделями реально наблюдаемых гистограмм, автоматически учитывают как нестационарность процесса $\tilde{i}(\tau)$, так и стохастическую связь между значениями интенсивности дождя в отдельных интервалах времени.

После генерирования случайных величин H , T и θ случайным образом производится выбор реализации (6) (из группы, соответствующей разыгранным значениям H , T , так как между H и T имеется стохастическая связь) и ее пересчет в последовательность $i_j(t)$, $j = \overline{1, n}$. Процедура перехода от $i_j(t)$ к $\bar{a}_j$ осуществляется с помощью модели (2), (3).

Описанная имитационная схема

моделирования дает возможность получить достаточно большое число реализаций случайного процесса водоотдачи $\tilde{a}(t)$. В результате статистической обработки этих реализаций получают вероятностные характеристики отдельных элементов процесса водоотдачи, используемые при расчетах склонового стока.

Решение одномерной гидравлической модели кинематической волны с сосредоточенными параметрами [5], приводит к различным функциональным выражениям для определения максимального расхода воды Q_{mL}^1 с единицы ширины склона на расстоянии L от водораздела, вызванного отдельным стокообразующим дождем:

$$Q_{mL}^1 = \begin{cases} k\varepsilon(\bar{a}_m)_\tau L & \text{при } l_{Ta} \geq L \text{ или } \tau \leq T_a \\ k c_1 H_a^{n+1} & \text{при } l_{Ta} < L \text{ или } \tau > T_a \end{cases}, \quad (7)$$

где k – коэффициент пропорциональности; ε – поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность и несимметричность гидрографа водоотдачи $\tilde{a}(t)$; $(\bar{a}_m)_\tau$ – максимальная интенсивность водоотдачи, осредненная за время τ добегания волны стока; H_a – слой водоотдачи за общую продолжительность водоотдачи T_a ; n и $c_1 = m_0 I^u$ – параметры уравнения скорости $v = m_0 I^u y^n$ (y – глубина склонового потока); l_{Ta} – путь добегания волны стока, определяемый при переменной интенсивности водоотдачи по уравнению

$$l_{Ta} = (n+1)c_1 \int_0^{T_a} \int_0^\tau a(t) dt. \quad (8)$$

При постоянной во времени интенсивности водоотдачи путь добегания волны равен

$$l_{Ta}^* = c_1 a^n T_a^{(n+1)} = c_1 H_a^n T_a^n = \varepsilon l_{Ta}. \quad (9)$$

Для решения практических задач значения параметров n и u в формуле скорости склонового стекания $v = m_0 I^u y^n = c_1 y^n$ приняты в соответствии с СП 33-101-2003 [1] по Г. А. Алексееву: $n = 1$ и $u = 0,5$.

Выполненные по результатам моделирования гидрографов водоотдачи расчеты величины $\varepsilon = l_{Ta}^*/l_{Ta}$, являющейся случайной, показали, что с 95 % вероятностью и имеет равномерное распределение в интервале 0,8...1,2, то есть без больших систематических погрешностей в практических расчетах можно принять $\varepsilon = 1$. Это допущение значительно упрощает определение Q_{mL}^1 по модели (1), так как позволяет принимать осредненные значения интенсивности водоотдачи за интервалы времени τ или T_a . Согласно (7) в зависимости от соотношения l_{Ta} и L (или

τ и T_a) максимальный расход на склоне длиной L , вызванный конкретным стокообразующим дождем со слоем $H \geq 10$ мм, определяется по различным функциональным выражениям. При $l_{Ta} \geq L$ наблюдается полный сток (по терминологии А. Н. Бефани), когда в формировании максимального расхода участвует вся длина склона (весь водосбор). В противном случае при $l_{Ta} < L$, имеет место неполный сток и в формировании максимального расхода участвует не вся длина склона (весь водосбор), а только его часть, равная пути добегания волны l_{Ta} за время T_a .

Эти обстоятельства следует иметь в виду при оценке обеспеченности, так как в общем $(\bar{a}_m)_\tau$ случае она определяется не только вероятностными характеристиками водоотдачи $(\bar{a}_m)_\tau$ и H_a , но также и вероятностью возникновения самого вида стока (полного или неполного), поскольку величина l_{Ta} , являясь функцией произведения случайных величин $H_a T_a = z_1$, сама является случайной. Вероятность полного стока определяется вероятностью осуществления события $l_{Ta} \geq L$, то есть $P(l_{Ta} \geq L) = P(L) = q$, (10) где $P(L)$ – обеспеченность значения $l_{Ta} = L$ среди всей совокупности гидрографов водоотдачи.

Практически для вычисления q необходимо иметь кривую обеспеченности величины $z_1 = H_a T_a$, получаемую по результатам моделирования водоотдачи, и по ней для $z_1 = L/c_1$ (L/c_1 для конкретного водосбора является постоянной величиной) определить искомую вероятность полного стока. Поскольку полный сток и неполный образуют полную группу несовместных событий, вероятность неполного стока (включая и нулевой) равна $1 - q$. Применяя формулу полной вероятности к вычислению обеспеченности $P(Q_{mL}^1)$ (среди всей совокупности максимумов) конкретного рассматриваемого значения Q_{mL}^1 , определяемого выражением (1) при $\varepsilon = 1$ будет иметь вид:

$$P(Q_{mL}^1) = qP\left[Q_{mL}^1 \mid Z_1 \geq \frac{L}{c_1}\right] + (1-q)P\left[Q_{mL}^1 \mid Z_1 < \frac{L}{c_1}\right] = \\ = qP\left[(\bar{a}_m)_\tau = \frac{Q_{mL}^1}{kL} \mid Z_1 \geq \frac{L}{c_1}\right] + (1-q)P\left[H_a = \frac{Q_{mL}^1}{kc_1} \mid Z_1 < \frac{L}{c_1}\right]. \quad (11)$$

Время добегания (наступления установившегося режима стекания) τ при известном $(\bar{a}_m)_\tau = Q_{mL}^1/kL$ определяется по формуле (мин.)

$$\tau = L^{1/2}/(m_c I^{1/4} (\bar{a}_m)_\tau^{1/2}), \quad (12)$$

где L в м, I в %, $(\bar{a}_m)_\tau$ в мм/мин.

Значение параметра шероховатости склонов $m_c = m_0^{1/2}$, колеблющиеся для различных видов поверхности (сельскохозяйственных угодий) в пределах 0,2...0,3, приведены в СП33-101-2003 [1]. При принятых размерностях τ , L , I , H_a , $(\bar{a}_m)_\tau$ и Q_{mL}^1 в л/(с м) значение коэффициента пропорциональности k в (7) и (11) равно 0,0167.

Для вычисления $P(Q_{mL}^1)$ на практике необходимо иметь помимо кривой $P(z_1)$, определяющей вероятность возникновения полного стока на данном водосборе, также и серии условных функций (кривых) обеспеченности $P[(a_m)_\tau / Z_1 \geq \text{const}]$ и $P[H_a^2 / Z_1 < \text{const}]$ для различных видов поверхности склонов в рассматриваемом районе.

При проектировании гидротехнических сооружений в настоящее время в качестве нормативного критерия служит вероятность ежегодного превышения P_r наибольшего за годовой отрезок времени значения рассматриваемой гидрологической характеристики. В рассматриваемом случае это $P_r(Q_{mL}^1)$. При переходе от обеспеченности среди всей совокупности значений Q_{mL}^1 к ежегодной вероятности превышения годовых максимумов Q_{mL}^1 , можно воспользоваться подходом, изложенном в работе Ю. Б. Виноградова [4] для определения обеспеченности годовых суточных максимумов по всей совокупности суточных осадков. Кроме того, следует учитывать, что рассматриваемое конкретное значение Q_{mL}^1 в течение года может быть превышено как при полном стоке, так и при неполном стоке. Поэтому на основе теоремы сложения вероятностей для двух совместных событий с учетом выражения (11) будем иметь

$$P(Q_{mL}^1 \geq Q_{mL}^1) = P_r(Q_{mL}^1) = P_{\text{гп}}(Q_{mL}^1) + P_{\text{гн}}(Q_{mL}^1) - P_{\text{гп}}(Q_{mL}^1)P_{\text{гн}}(Q_{mL}^1), \quad (13)$$

где

$$P_{\text{гп}}(Q_{mL}^1) = 1 - \left\{ 1 - qP \left[(\bar{a}_m)_\tau = \frac{Q_{mL}^1}{kL} \middle| Z_1 > \frac{L}{c_1} \right] \right\}^m -$$

ежегодная вероятность превышения $Q_{mL}^1 = Q_{mL}^1$ среди случаев полного стока;

$$P_{\text{гн}}(Q_{mL}^1) = 1 - \left\{ 1 - (1-q)P \left[H_a^2 = \frac{Q_{mL}^1}{kc_1} \middle| z_1 < \frac{L}{c_1} \right] \right\}^m -$$

ежегодная вероятность превышения $Q_{mL}^1 = Q_{mL}^1$ среди случаев неполного стока; m – среднее годовое число гидрографов водоотдачи, получаемое

по результатам имитационного моделирования.

Выполненные на основе выражения (13) расчеты показали, что годовые максимумы Q_{mL}^1 при $P_r \leq 10\%$ на коротких склонах $L < 250$ м и при уклонах $I > 250\%$ (14) образуется исключительно при полном стоке, то есть за счет наибольшей ежегодной интенсивности водоотдачи за время склонового добегания $(\bar{a}_m)_\tau$. Это обстоятельство существенно упрощает расчеты максимальных расходов для небольших эрозионно опасных водосборов. В качестве расчетной для этих водосборов может служить известное выражение

$$Q = 0,0167(\bar{a}_m)_\tau \bar{B}L, \quad (14)$$

где Q – максимальный расход (л/с) ежегодной вероятностью превышения P_r ; $(\bar{a}_m)_\tau$ – максимальная интенсивность водоотдачи, мм/мин за время добегания τ (мин.) обеспеченностью P_r ; $\bar{B}$ – средняя ширина склонов, м.

Расчеты модулей максимальных дождевых расходов различной обеспеченности P_r для склонов, не охватываемых формулой (8), показали, что получаемые по действующим нормам [1] результаты завышены при $P_r \geq 5\%$ на 10...62% для различных видов поверхности, из-за неучета реальной («действующей») длины склона, участвующей в формировании расчетного максимума.

Полученные моделированием кривые обеспеченности $P_r(H_{am})$ решают вопрос и о расчете максимального годового объема дождевого стока W_m (м³) обеспеченностью P_r

$$W_m = 10^{-2} H_{am} F,$$

где H_{am} – максимальный годовой слой водоотдачи обеспеченностью P_r , мм; F – площадь водосбора, га.

Выводы

В настоящей работе рассматривается классический случай формирования стока, вызванного превышением интенсивности дождя над интенсивностью потерь и происходящего поверхностным путем. На основании анализа экспериментальных данных по искусственному дождеванию была получена необходимая для расчета водоотдачи обобщенная модель интенсивности суммарных потерь при образовании поверхностного стока на склонах речного водосбора.

Библиографический список

1. Определение основных расчетных

гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 74с.

2. Прошляков И. В. Имитационная модель водоотдачи склонов для расчета поверхностного дождевого стока и водной эрозии // Эрозия почв, селевые потоки и методы борьбы с ними: сб. науч. трудов. Тбилиси, ГрузНИИГиМ. – Тбилиси.: ГрузНИИГиМ, 1985. – С. 134–146.

3. Бефани А. Н. Теория формирования дождевых паводков и методы их расчета / в кн.: Международный симпозиум по паводкам и их расчетам, т. I. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1969. – С. 273–294.

4. Виноградов Ю. Б. Вопросы гидрологии дождевых паводков на малых водосборах Средней Азии и Южного Казахстана // Труды КазНИГМИ, вып. 28. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 262с.

5. Бефани А. Н. Основы теории ливневого стока. / Труды Одесского

гидромет. института. Вып. 4, ч. 1. – Одесса.: ОГМИ, 1949. – С. 39–175.

Материал поступил в редакцию 12.01.2016.

Сведения об авторах

Прошляков Игорь Валентинович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Гидрология, гидрогеология и регулирование стока» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д.19; тел. 8(499) 976-17-45; e-mail: iprosh@mail.ru

Исмайлов Габил Худушоглы, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Гидрология, гидрогеология и регулирование стока» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д.19; тел. 8(499) 976-23-68; e-mail: gabil-1937@mail.ru

I. V. PROSHLYAKOV, G. KH. ISMAIYLOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

CONCERNING THE THEORY OF FORMATION OF THE MAXIMAL RAIN SLOPE RUNOFF

The purpose of the work is the improvement of theoretical ideas about the formation of rain runoff from slopes and development on this basis of engineering methods for the determination of design characteristics of the maximum runoff when creating anti-erosion hydro technical structures on the slopes and in the primary channel network. Formation of slope runoff is considered as a result of deterministic-stochastic processes of rain events, infiltration of a part of the rainfall into the soil and runoff of the non-absorbed water along the slope. The technique of determining the statistical characteristics of potentially forming a drain of the rains (with a layer of more than 10 mm), such as the total layer, duration of falling, the intensity for various time periods. The method is based on the simulation of a non-stationary random process of the intensity of rainfall. It is implemented using actual realizations of dimensionless realizations of the layer increase of precipitation fallen during rain precipitation obtained from the data of the nearby weather stations. There is formulated a very probable qualitative picture of water absorption in the soil and process of water yield of slopes under surface runoff formation. The analytical expression of the slope infiltration capacity is given during the period of rain falling taking into account the initial (before the rain) moistening of the upper 10-cm soil layer. For the probabilistic assessment of the initial soil moisture content there is proposed a bilateral limited normal distribution. The upper and lower limits of fluctuations of a random variable of the initial moistening and other parameters of the distribution (mean and RMS) are defined by water-physical properties of the soil or according to the observations of humidity at the regional meteorological stations. On the basis of the model of the kinematic waves and curves of the distributions of the characteristics of the water yield there is proposed a technique of determination of sufficiency of maximum discharges of slope flow taking into account the assessment of the probability of the "current" slope length in the formation of the considered maximum. Comparison of modules maximum discharges obtained by the proposed scheme of their determination with the normative maxima showed that the latter are overrated by 20...40 % under provision of 5 % and 40 % respectively. At the provision of 1 % they are practically the same.

The maximum rainwater runoff, soil moisture, statistical characteristics of streamflow formation precipitation, rain intensity, absorption, slope runoff.

References

1. Opredeleniye osnovnykh raschetnykh hydrologicheskikh harakteristik. SP 33-101-2003. – M.: FGUP TSPP, 2004. – 74с.
2. Proshlyakov I.V. Imitatsionnaya model vodootdachi sklonov dlya rascheta poverhstnogo dozhddevogo stoka I vodnoj erozii // Eroziya pochv, selevyje potoki i metody borjby s nimi: sb. Nauch. Trudov. Tbilisi, GruzNIIGiM. – Tbilisi: GruzNIIGiM, 1985. – S. 134–146.
3. Befani A.N. Teoriya formirovaniya dozhddevykh pavodkov I metody ih rascheta / v kn.: Mezhdunarodny symposium po pavodkam I ih raschetam, t. I. – M.: Izd-vo literatury po stroiteljstvu, 1969. – S. 273–294.
4. Vinogradov Yu. B. Voprosy gidrologii dozdevykh pavodkov na malyh vodosborah Srednej Azii I Yuzhnogo Kazahstana // Trudy KazNIGMI, vyp. 28. – L.: Hydrometeoizdat, 1967. – 262s.
5. Befani A.N. Osnovy teorii livneвого stoka / Trudy Odesskogo hydromet. Institute. Vyp. 4, ch.1. – Odessa: OGMI, 1949. – S. 39–175.

Received on 12.01.2016.

Information about the authors

Proshlyakov Igor Valentinovich, candidate of technical sciences, professor of the chair «Hydrology, hydrogeology and runoff regulation» FSBEI HE RSAU-MAA named after C. A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova.19; tel. 8(499) 976-17-45; e-mail:iprosh@mail.ru

Ismailylov Gabil Khudushogly, doctor of technical sciences, professor, head of the chair «Hydrology, hydrogeology and runoff regulation» FSBEI HE RSAU-MAA named after C. A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova.19; tel. 8(499) 976-23-68; e-mail:gabil-1937@mail.ru

УДК 502/504:624.131:627.8

В. И. СМЕТАНИН, В. Н. АВЕРЬЯНОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УПЛОТНЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

С целью повышения надежности грунтовых гидротехнических сооружений выполнены исследования влияния уплотнения на формирование структуры глинистого грунта. В лабораторных и производственных условиях изучена возможность уплотнения глинистых грунтов природной влажности до состояния, характеризуемого коэффициентом водонасыщения $S_r \geq 0,9$, при котором формируется устойчивая дисперсионная структура, стабильные физико-механические свойства и наименьшая водопроницаемость глинистого грунта. Ориентация на оптимальную влажность, стандартную максимальную плотность и пределы отклонения от этих величин согласно действующих в России нормативных документов не всегда позволяет достигнуть такого же состояния грунта. На основе изучения процесса изменения структуры глинистых грунтов при уплотнении сформулированы новые технологические параметры: консистенция и коэффициент водонасыщения. По консистенции грунта природной влажности выбираются грунтоуплотняющие механизмы, а по значению коэффициента водонасыщения $S_r \geq 0,9$ определяются значения плотности ρ_d в зависимости от природной влажности уплотняемого грунта. Уплотнение глинистых грунтов природной влажности при возведении гидротехнических сооружений позволяет избежать необходимости выполнения трудоемких операций по доведению грунтов до оптимальной влажности, что сокращает сроки строительства и стоимость строительных работ. Предлагаемая технология организации уплотнения глинистых грунтов, усовершенствованная новыми технологическими параметрами, может быть использована при возведении земляных сооружений в дорожном строительстве и в других отраслях народного хозяйства.

Гидротехническое сооружение, противодиффузионное устройство, глинистый грунт, технология уплотнения, плотность сухого грунта, влажность грунта, структура глинистого грунта, технологические параметры уплотнения, грунтоуплотняющие механизмы, консистенция, коэффициент водонасыщения, водопроницаемость, коэффициент диффузии, физико-механические характеристики грунта.

Введение. Строительство и реконструкция грунтовых гидротехнических сооружений сопряжены с послойной укладкой и уплотнением несвязных и связных глинистых грунтов. Для достижения максимальной плотности перед уплотнением рекомендуется грунт доводить до оптимальной влажности. Значения оптимальной влажности устанавливают на основании лабораторных испытаний, в результате которых определяют влажность W_{opt} , при которой достигается максимальная стандартная плотность сухого грунта ρ_{dmax} .

Укладка большинства несвязных грунтов обычно не вызывает особых проблем ни в период возведения, ни в процессе эксплуатации грунтовых сооружений. При укладке глинистых грунтов часто возникают обстоятельства, осложняющие процесс их укладки при строительстве или вызывающие изменение их физико-механических свойств в период эксплуатации возведенного сооружения.

Например, изменение состояния глинистых грунтов в процессе замачивания и последующего водонасыщения приводило к разрушению гидротехнических сооружений (плотина на р. Мармарик высотой 64 м в Армении) или к необходимости ремонта их противофильтрационных устройств (плотина Болдерхед высотой 48 м, плотина Хиттеуей высотой 93 м в Англии) и др.

С целью совершенствования технологии возведения грунтовых гидротехнических сооружений была изучена возможность уплотнения глинистых грунтов влажностью отличной от W_{opt} , изменяющейся в диапазоне влажностей от максимальной молекулярной влагоемкости до влажности, соответствующей мягкопластичному состоянию.

Материалы и методы исследований. Исследования показали, что при уплотнении глинистых грунтов в указанном диапазоне влажностей вполне реально достижение значения плотности, при которой грунт характеризуется коэффициентом водонасыщения $S_r \geq 0,9$. При достижении грунтом $S_r \geq 0,9$ обеспечивается наименьшая водопроницаемость и наибольшая стабильность физико-механических свойств, как в процессе строительства, так и в период эксплуатации гидротехнического сооружения. Исключается переход грунта из состояния, достигнутого

в процессе уплотнения глинистого грунта при возведении сооружения, в другое, возможно текучепластичное или текучее состояние, после его замачивания и водонасыщения в период эксплуатации сооружения.

Для определения оптимальной влажности и максимальной плотности применяют ударное воздействие на грунт, но удельная энергия уплотнения при этом существенно различается и варьирует от $5,9 \cdot 10^{-1}$ Дж/см³ (в методе Американской ассоциации государственных служащих автомобильных дорог – AASHTO) до $27,0 \cdot 10^{-1}$ Дж/см³ (в модифицированном методе AASHTO). Также производят лабораторное уплотнение грунта циклическими статическими нагрузками, моделирующими воздействие уплотняющих механизмов на грунт (методы, разработанные во ВНИИГ имени Б. Е. Веденева). Применяют динамическое ударно-вибрационное уплотнение, а также уплотнение вибрацией, перемятием и другими методами, которые воспроизводят процессы укатки грунта различными грунтоуплотняющими средствами (ВНИИ «ВОДГЕО», ВСЕГИНГЕО, Воронежский инженерно-строительный институт и др.).

По результатам лабораторных исследований построены графики зависимости плотности сухого грунта ρ_d от его влажности W , на которых выделены значения максимальной плотности сухого грунта ρ_{dmax} и оптимальной влажности W_{opt} .

Изучена связь между максимальной плотностью сухого грунта и оптимальной влажностью для различных глинистых грунтов [1, 2]. В Российской Федерации в настоящее время действует ГОСТ 22733-2002 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности», в котором используется ударное воздействие на грунт. Этот метод разработан Государственным дорожным научно-исследовательским институтом (ФГУП «СоюздорНИИ»).

Сравнение результатов лабораторного уплотнения песчанистого суглинка различными методами, использующими ударное воздействие на грунт, показано на рисунке 1. Как видно из рисунка, с увеличением удельной энергии уплотнения значение максимальной плотности сухого грунта возрастает сначала интенсивно,

а затем затухает. При этом сохраняется линейная зависимость между значениями максимальной плотности и оптимальной влажности (максимальная плотность возрастает по мере уменьшения оптимальной влажности). Такой же эффект уплотнения был отмечен при исследовании грунтовых смесей «ОСВ-песок» [3].

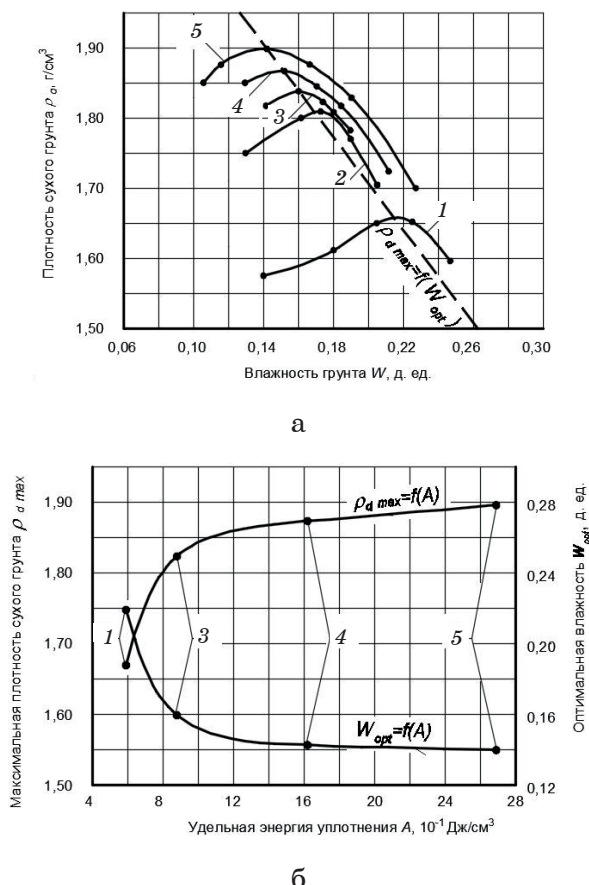


Рис. 1. Сравнение результатов лабораторного уплотнения песчанистого суглинка методами, использующими ударное воздействие на грунт: а – зависимости плотности сухого грунта ρ_d от влажности W ; б – зависимость максимальной плотности сухого грунта $\rho_{d \text{ max}}$ и оптимальной влажности W_{opt} от удельной энергии уплотнения A ; 1 – стандартный метод AASHTO ($A = 5,9 \cdot 10^{-1}$ Дж/см³); 2 – метод Проктора (ручное трамбование грунта, A – не определяется); 3 – ГОСТ 22733-2002 ($A = 8,8 \cdot 10^{-1}$ Дж/см³); 4 – калифорнийский метод ($A = 16,2 \cdot 10^{-1}$ Дж/см³); 5 – модифицированный метод AASHTO ($A = 27,0 \cdot 10^{-1}$ Дж/см³)

Кривые зависимости ρ_d от W , полученные на основании лабораторных испытаний грунта, в большинстве случаев, не соответствуют полученным при обработке резуль-

татов производственного уплотнения. Поэтому при строительстве гидротехнических сооружений, например плотин, перед началом возведения противофильтрационных устройств из глинистых грунтов производят уплотнение грунта на опытных насыпях. По результатам этих испытаний уточняют требования к плотности и влажности грунта, толщину уплотняемого слоя и режим уплотнения.

Но, и после отработки технологии уплотнения грунтов на опытных площадках, в процессе строительства приходится корректировать условия отсыпки и уплотнения грунтов, а также требования к качеству уплотнения по результатам производственного геотехнического контроля.

Исследованиями И. Е. Евгеньева, изложенными в трудах ФГУП «СоюздорНИИ», показано, что по стандартному методу понятие «требуемая плотность» не связано с расчетными показателями деформативности, прочности, пучинистости, поэтому невозможно представить, на сколько снижается надежность конструкции вследствие некоторого недоуплотнения грунта; даже при достижении требуемой плотности глинистый грунт может иметь консистенцию от твердой до текучепластичной, соответственно в широком интервале изменяется и его прочность [4].

Практика проектирования и строительства плотин из грунтовых материалов в США показывает, что требуемое значение плотности колеблется от 90 % по стандартному методу AASHTO до 97 % по модифицированному методу AASHTO. Еще более широко расходятся мнения относительно влажности грунта при укладке. Одни фирмы требуют укатки грунта с влажностью ниже оптимальной, другие – выше, третьи – только при оптимальной влажности. Степень колебаний достигает от 0,06 (выше оптимальной) до 0,02 (ниже оптимальной). Отмечается, что в общем случае ядро плотины при влажной укатке менее водопроницаемо и способно выдерживать деформации без трещинообразования [5].

Согласно СП 39.13330.2012 (Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84*) плотность грунта назначается в зависимости от конструктивных особенностей возводимого сооружения, требований к отсыпке грунта для последующего его уплотнения, интенсивности земляных работ.

Такой подход к возведению грунтовых

насыпных гидротехнических сооружений из глинистых грунтов позволяет достичь нормативных требований к качеству земляных работ на стадии возведения, но не позволяет учитывать особенности формирования структуры и свойств глинистых грунтов, меняющихся при водонасыщении в период эксплуатации сооружения.

Структуру глинистых грунтов исследовали многие отечественные и зарубежные ученые: Е. М. Сергеев, В. И. Осипов, В. Н. Соколов, Т. Б. Лэмб, Г. Б. Сид, С. К. Чан и др. Исследованиями установлены два вида естественного структурообразования глинистых грунтов.

Первый, солевой, когда в коллоидном растворе в электрическом поле осаждаются диспергированные частицы, имеющие одноименные заряды, способствующие частицам скользить друг по другу, обеспечивая наилучшую их упаковку с образованием параллельной структуры расположения частиц.

Второй, несолевой, когда в коллоидном растворе, в электрическом поле отдельные частицы с разноименными зарядами склеиваются между собой в отдельные агрегаты, которые образуют структуры с хаотичным расположением частиц.

Ориентация частиц при этом получается хаотичной с расположением смежных частиц относительно друг друга близкой к перпендикулярному, то есть отрицательные полюса частиц притягиваются положительными. В первом случае структуру называют диспергационной и ориентацию частиц – параллельной, во втором случае – флокуляционной, а ориентацию частиц – хаотичной.

При флокуляционной структуре сложения фильтрационные и механические свойства грунта определяются характером и прочностью связей между агрегатами, а не ориентацией частиц в агрегате. При диспергационном сложении большое значение приобретает степень ориентации частиц грунта. В природном состоянии подавляющее большинство континентальных глинистых грунтов осадочного происхождения характеризуется флокуляционной структурой.

В процессе уплотнения глинистого грунта, доставленного из карьера к месту укладки и распределенного по карте отсыпки равномерным слоем, в нем формируется структура, отличная от природной. Разрушаются агрегаты, уменьшается межагрегатная пористость

и создается более однородное сложение грунтовой массы, которое в зависимости от влажности грунта, метода уплотнения и величины затраченной на уплотнение работы может характеризоваться флокуляционной, либо диспергационной структурой. При одном и том же методе уплотнения грунта с различной влажностью преобразование структуры грунта с флокуляционной на диспергационную достигается уплотнением до достижения плотности глинистого грунта, при которой в грунте остается лишь 10 % незаполненных водой пор, то есть коэффициент водонасыщения грунта приобретает значение 0,9.

Преобразование флокуляционной структуры в диспергационную приводит к уменьшению коэффициента фильтрации глинистого грунта в десятки и сотни раз [6].

Диспергационная структура слабо реагирует на дополнительное увлажнение при дальнейшем водонасыщении грунта, что обеспечивает практически неизменность физико-механических и фильтрационных свойств глинистого грунта. Высокий уровень водонасыщения глинистого грунта способствует более равномерному распределению плотности по толщине уплотняемых слоев, что доказано большим объемом полевых исследований Е. Лефлайва и М. Шаефмера [7].

Требуемая плотность сухого грунта ρ_d , обеспечивающая переход из флокуляционной в диспергационную структуру, определяется по формуле:

$$\rho_d \geq \frac{S_r \rho_s \rho_w}{S_r \rho_w + W \rho_s},$$

где $S_r = 0,9$ (значение коэффициента водонасыщения, при котором в процессе уплотнения формируется устойчивая диспергационная структура грунта); ρ_s – плотность частиц грунта, зависящая от минералогического состава, может изменяться в пределах 2,70...2,75 г/см³ и для большинства глинистых грунтов составляет 2,72 г/см³; ρ_w – плотность воды, 1 г/см³; W – природная влажность глинистого грунта, д. ед.

Следует учитывать, что при уплотнении некоторых глинистых грунтов может проявляться тенденция к сохранению флокуляционной структуры или, наоборот, к переходу в диспергационную структуру. Поэтому, значение коэффициента водонасыщения S_r , при котором достигается устойчивая диспергационная структура грунта, может отклоняться в сторону его увеличения или уменьшения, как показывает практика исследований, в пределах от 0,85 до 0,95.

В зависимости от инженерно-геологических условий природная влажность глинистых грунтов может существенно различаться, соответственно различается их состояние, или консистенция, определяемая по показателю текучести I_L согласно ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация». В работах А. М. Васильева, Н. Н. Маслова, М. Н. Гольдштейна, Н. А. Цитовича, А. А. Кагана, Э. К. Кузахметовой и др. показано, что консистенция глинистого грунта является обобщенным показателем его физико-механических свойств. Учитывая этот факт, подбор уплотняющей техники для преобразования природной флокуляционной структуры грунта в диспергационную следует выполнять в зависимости от консистенции грунта.

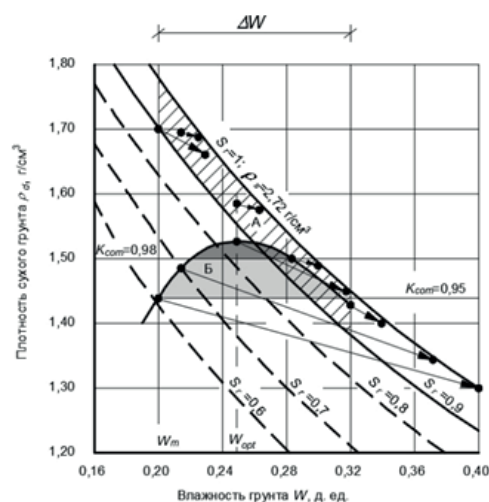
Если грунт в естественной залежи имеет твердую ($I_L < 0$) или полутвердую ($0 \leq I_L \leq 0,25$) консистенцию, то для его уплотнения в сооружении требуются механизмы с наибольшей энергией воздействия на уплотняемый грунт, такие как самоходные виброкатки с кулачковым вальцом типа «педфут», трамбующие плиты или тяжелые пневмокотки с высоким удельным давлением на грунт. Для грунта, имеющего тугопластичную консистенцию ($0,25 \leq I_L \leq 0,50$), понадобятся кулачковые катки статического действия или пневмокотки со средним удельным давлением, а для грунта мягкопластичной консистенции ($0,50 \leq I_L \leq 0,75$) – легкие катки или бульдозеры, оказывающие наименьшее энергетическое воздействие на уплотняемый грунт. Грунты текучей ($I_L > 1,00$) и текучепластичной ($0,75 < I_L \leq 1,00$) консистенции, а также пересохшие грунты с влажностью, меньшей максимальной молекулярной влагоемкости, не применяют для возведения земляных сооружений без предварительного их кондиционирования.

Таким образом, коэффициент водонасыщения $S_r \geq 0,9$ и консистенция глинистого грунта природной влажности являются новыми технологическими параметрами, при обеспечении которых уплотнением формируется устойчивая диспергационная структура грунта с наименьшей водопроницаемостью.

Инженерно-геологическими изысканиями устанавливается диапазон изменения природной влажности и консистенция глинистого грунта в месторождении, выбранном с целью возведения сооружения. Для этой консистенции подбирается грун-

тоуплотняющий механизм и по формуле (1) определяют требуемые значения плотности грунта, которые должны быть достигнуты его послойным уплотнением при природной влажности. Такой подход к определению технологических параметров уплотнения не связан с выполнением многократных стандартных испытаний уплотняемости грунта в лаборатории и подгоном их к производственным условиям.

На рисунке 2 показана область требуемых значений плотности и влажности для глины твердой и полутвердой консистенции (А) в сравнении с требованиями СП 45.13330.2012 (Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87) при коэффициентах уплотнения $K_{com} = 0,95$ и $K_{com} = 0,98$ (Б).



Консистенция В	Твёрдая	Полутвёрдая	Тугопластичная
Показатель текучести I_L , д.ед.	0	0,25	0,50
Угол внутреннего трения ϕ , град.	25+23	23+21	21+17
Сцепление C , МПа	0,06+0,04	0,04+0,02	0,02+0,01
Модуль деформации E , МПа	30+20	20+10	10+5

Рис. 2. Область требуемых значений плотности и влажности, обеспечивающих формирование устойчивой диспергационной структуры в уплотняемой глине твердой и полутвердой консистенции (А), в сравнении с требованиями к уплотнению грунтов по СП 45.13330.2012 (Б): ΔW – диапазон изменения природной влажности глины; W_{opt} – оптимальная влажность по ГОСТ 22733-2002; W_m – максимальная молекулярная влагоемкость; S_r – коэффициент водонасыщения; K_{com} – коэффициент уплотнения; ρ_s – плотность частиц грунта; стрелки показывают изменение плотности и влажности уплотненной глины при замачивании и водонасыщении

Из рисунка видно, что грунт, уплотненный в соответствии с новыми технологическими требованиями (А) при полном водонасыщении не изменяет свою консистенцию и, соответственно, механические характеристики. Грунт, уплотненный в соответствии с требованиями ныне действующих нормативных документов (Б), в аналогичных условиях может в значительной мере изменять свою консистенцию с твердой до мягкопластичной, вследствие чего в несколько раз снижаются его механические характеристики.

Такой процесс в суглинках и супесях, характеризующихся меньшей пластичностью, чем глина, может способствовать к их переходу в текучепластичное или текучее состояние и привести сооружение в аварийное состояние.

Выбор режима работы грунтоуплотняющих механизмов и толщины уплотняемых слоев грунта, обеспечивающих соблюдение вышеуказанных технологических параметров уплотнения, должен производиться на основе опытной укатки грунта.

Наиболее высокие требования к качеству исполнения предъявляются к противофильтрационным устройствам, выполняемым в виде экрана. С целью достижения наименьшей водопроницаемости была опробована технология возведения экранов из глинистых грунтов природной влажности с использованием вышеизложенных теоретических положений уплотнения глинистых грунтов на строительстве верхнего аккумулирующего водоема Днестровской ГАЭС, золоотвала Рязанской ГРЭС, бассейна суточного регулирования Зеленчукских ГЭС и иловых площадок Курьяновских очистных сооружений.

На строительстве Днестровской ГАЭС были устроены три опытных насыпи: из тяжелых неогеновых глин, из легких эолово-делювиальных глин и из неогеновых суглинков, а на строительстве золоотвала Рязанской ГРЭС – опытная насыпь из аллювиальных суглинков.

Глинистые грунты в полезных выемках разрабатывали экскаватором ЭО-4121А, вместимость ковша 1 м³, с погрузкой в автосамосвалы МАЗ-5549, МАЗ-551 и транспортировали в опытные насыпи, где укладывали при природной влажности, соответствующей твердой и полутвер-

дой консистенции, слоями 0,25х0,30 м в рыхлом теле с разравниванием бульдозером на базе трактора Т-130. Уплотнение каждого слоя грунта производили за 8 проходов по следу при скорости движения 5 км/час: в насыпях глин – груженным автосамосвалом БелАЗ-540, а в насыпях суглинков – скрепером Д-357. Перед укладкой каждого последующего слоя поверхность предыдущего увлажняли по норме 5х7 л/м² для получения качественного контакта слоев. Опытные насыпи глин состояли из двух слоев грунта, а насыпи суглинков – из четырех.

После окончания возведения насыпей на их поверхности закладывали шурфы, из которых в нижней половине каждого слоя отбирали контрольные пробы на плотность, влажность и пластичность. Отбор проб из шурфов производили методом режущего кольца в соответствии с ГОСТ 12071-2000 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов».

Результаты исследований. Анализ результатов опытного уплотнения показал, что на всех испытанных разновидностях глинистых грунтов новые технологические параметры уплотнения (консистенция и коэффициент водонасыщения), ограничивающие область требуемых значений плотности и влажности грунтов в насыпи, реализованы без каких-либо затруднений. Следовательно, при уплотнении этих грунтов была получена диспергационная структура, обеспечивающая их наименьшую водопроницаемость. В качестве иллюстрации на рисунке 3 приведены результаты уплотнения глины в опытной насыпи, совмещенные с кривыми стандартного уплотнения в лабораторных условиях по ГОСТ 22733-2002 и по модифицированному методу AASHO. Как видно из графика на рисунке 3, опытные точки, полученные при уплотнении глинистых грунтов природной влажности твердой и полутвердой консистенции, легли в зоне изменения коэффициентов водонасыщения $S_r = 0,9...1,0$, соответствующей правым ветвям кривых стандартного уплотнения грунта в лаборатории как по ГОСТ 22733-2002, так и по модифицированному методу AASHO. Подобную картину подтверждают результаты полевых исследований уплотнения легких

и тяжелых глин твердой и полутвердой консистенции, выполненные под нашим методическим руководством лабораторией крупномасштабных гидравлических и геотехнических исследований Министерства Топлива и Энергетики Украины на строительстве Днестровской ГАЭС. Полученные значения плотности ρ_d , при соответствующих им влажностях W грунта, также попали в область, ограниченную технологическими параметрами от $S_r = 0,9 \dots 1,0$.

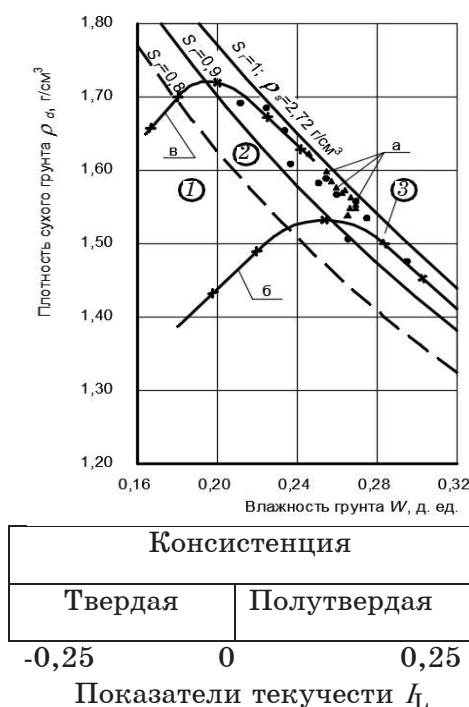


Рис. 3. Результаты уплотнения глины груженым автосамосвалом БелАЗ-540 за 8 проходов по следу на слое 0,3 м (а), совмещенные с кривыми стандартного уплотнения в лабораторных условиях по ГОСТ 22733-2002 (б) и по модифицированному методу AASHTO (в): 1, 2, 3 – соответственно, области флокуляционной (коэффициент водонасыщения равен $S_r < 0,8$, переходной – $S_r = 0,8 \dots 0,9$ и диспергационной – $S_r > 0,9$ структуры грунта; • – пробы из верхнего слоя опытной насыпи; ▲ – пробы из нижнего слоя опытной насыпи; × – стандартное уплотнение в лаборатории

При этом выбор грунтоуплотняющих механизмов и режима уплотнения, ориентировался на использование новых технологических параметров в виде

консистенции грунта соответствующей природной влажности и коэффициента водонасыщения $S_r \geq 0,9$.

Уплотнение глинистого грунта выполнялось кулачковым виброкатком ATLAS массой 16 т слоев грунта толщиной по 0,25х0,30 м, а также кулачковым виброкатком HAMM массой 24 т слоев грунта толщиной по 0,30х0,35 м.

Уплотнение грунтов на картах отсыпки производили за 8 попутных проходов по одному следу кулачковым виброкатком ATLAS при скорости его перемещения 1,5 км/ч, и за 10 проходов в режиме, когда первый и три последних прохода осуществлялись на скорости до 2 км/ч, а промежуточные проходы – на скорости 3 км/ч.

Результаты уплотнения глин природной влажности твердой и полутвердой консистенции кулачковым виброкатком ATLAS массой 16 т приведены на рис.4.

Из 18 проб, отобранных в насыпи, только 1 проба имела коэффициент водонасыщения ниже 0,9, то есть обеспеченность значений $S_r \geq 0,9$ составила 95 %. Плотность сухого грунта ρ_d при той же обеспеченности составила 1,56 г/см³. При 50 % обеспеченности $S_r = 0,97$, а плотность $\rho_d = 1,61$ г/см³. Максимальное значение плотности сухого грунта $\rho_d = 1,69$ г/см³ при $S_r = 1$.

Исследования водопроницаемости уплотненных в опытных насыпях глинистых грунтов при высоких градиентах фильтрации показали, что их коэффициент фильтрации значительно ниже 10^{-8} см/с ($\sim 10^{-5}$ м/сут).

Уплотнение глинистых грунтов с введением новых требований к технологическим параметрам процесса уплотнения в виде коэффициента водонасыщения $S_r \geq 0,9$ и консистенции, соответствующей природной влажности, было применено при возведении экрана из лессовидных и делювиальных суглинков полезных выемок замен пленочного экрана на строительстве бассейна суточного регулирования Зеленчукских ГЭС и при реконструкции иловых площадок Курьяновских очистных сооружений при возведении дамб и защитных экранов из глинистых грунтов моренных и флювиогляциальных отложений.

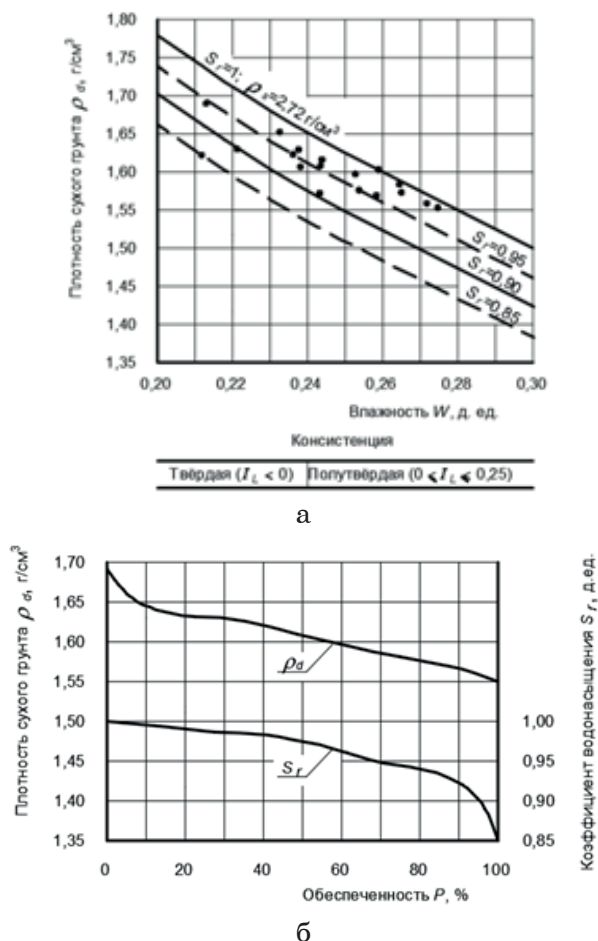


Рис. 4. Результаты уплотнения глины кулачковым виброкатком ATLAS массой 16 т за 10 проходов по следу на слое толщиной 0,3 м: а – зависимость плотности сухого грунта ρ_d от влажности W ; б – графики обеспеченности плотности сухого грунта ρ_d и коэффициента водонасыщения S_r

Выводы

Наличие современного парка грунтоуплотняющей техники с различной степенью воздействия на грунт позволяет при уплотнении глинистого грунта природной влажности добиться плотности, обеспечивающей достижение грунтом коэффициента водонасыщения $S_r \geq 0,9$, характеризующего переход флокуляционной структуры глинистых грунтов в диспергационную.

Изучение процесса изменения структуры глинистых грунтов при уплотнении позволило сформулировать новые технологические параметры: консистенция и коэффициент водонасыщения. По консистенции грунта выбирается грунтоуплотняющая машина, а по значению коэффициента водонасыщения $S_r = 0,9$,

используя приведенную выше зависимость с учетом природной влажности уплотняемого грунта, определяют минимально допустимую плотность ρ_d , при достижении которой достигается переход флокуляционной структуры глинистых грунтов в диспергационную.

Уплотнение глинистых грунтов природной влажности при возведении грунтовых сооружений позволяет избежать необходимости выполнения трудоемких операций по доведению грунтов до оптимальной влажности, что сокращает сроки строительства и стоимость строительных работ.

Предлагаемая технология организации уплотнения глинистых грунтов, усовершенствованная новыми технологическими параметрами, может быть использована при возведении земляных сооружений в дорожном строительстве и в других отраслях народного хозяйства.

Библиографический список

1. Жарницкий В. Я. Оперативное определение параметров Проктора глинистых грунтов, используемых для устройства противофильтрационных элементов плотин // Гидротехническое строительство. – 2005. – № 3. – С. 15–18.
2. Striegler W. Boden mechanische Grenzwerte zur Verdichtung natürlicher Erddichtungsstoffe im Wasserbau // WWT. 18. Jahrgang 1968. Heft 2, p. 52–55.
3. Сметанин В. И., Земсков В. Н. Рекультивация земель с использованием осадков сточных вод // Природообустройство. – 2013. – № 2. – С. 15–20.
4. Евгеньев И. Е. О дифференцировании требований к плотности грунтов земляного полотна / Труды СОЮЗДОРНИИ. Уплотнение земляного полотна и конструктивных слоев дорожных одежд. – М.: СОЮЗДОРНИИ, 1980. – С. 9–15.
5. Практика проектирования и строительства арочных, земляных, каменнонабросных и бетонных гравитационных плотин в США. Плотины из местных материалов // Перевод 626.3/П-69. Институт «Гидропроект». – М.: Гидропроект, 1985. – С. 46–48.
6. Лэмб Т. В. Структура уплотненной глины // Перевод № 2076. НИС Гидропроект. – М.: Гидропроект, 1962. – 35 с.
7. Лефлайв Е. Шаефнер М. Значение толщины слоев для уплотнения насыпи.

Перевод с французского // Информационное издание ВИНТИ «Геология». Выпуск 7. Реферат Е455. – М.: ВИНТИ, 1981. – 8 с.

Материал поступил в редакцию 03.02.2016.

Сведения об авторах

Сметанин Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Организация и технология строительства объектов природообустройства»; ФГБОУ

ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д.44; тел.: 8-499-976-07-13; e-mail: smetanin2000@yandex.ru.

Аверьянов Виталий Николаевич, соискатель ученой степени кандидата наук, генеральный директор АО «Проектно-изыскательское научно-исследовательское бюро «ГИТЕСТ»; 125212, г. Москва, Ленинградское шоссе, д.43А.; тел.: 8 (926) 280-01-20, e-mail: 2800120@mail.ru.

V. I. SMETANIN, V. N. AVERYANOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF CLAY SOILS COMPACTION AT ERECTION OF HYDRAULIC STRUCTURES

With the aim of improving the reliability of soil hydraulic structures investigations of the compaction influence on the formation of clay soil structure were performed. Under the laboratory and industrial conditions the possibility of clay soils compaction of the natural moisture up to the condition characterized by a degree of water saturation $S_r \geq 0.9$ under which stable disperse structure, stable physical-mechanical characteristics and the lowest clay soils permeability are formed was studied. The orientation to the optimal moisture, standard maximum density and these values tolerances according to the current Russian normative documents does not always allow achieve the same soil condition. Based on the investigation of the process of changes of the clay soils structure under compaction there are formulated new technological parameters: consistency and water saturation coefficient. Depending on the consistency of the natural soil moisture soil compaction mechanisms are chosen, and according to the value of water saturation coefficient $S_r \geq 0.9$ there are determined density values ρ_d depending on the natural moisture of the compacted soil. The compaction of clay soils of the natural moisture content at erecting hydraulic structures allows avoid the necessity of labor-intensive works on bringing the soils to the optimum moisture which reduces the construction time and construction cost. The proposed technology of organization of clay soils compaction improved by new technological parameters can be used at erection of soil structures in road construction and in other sectors of the economy.

Hydraulic structure, impervious device, clay soil, compaction technology, dry soil density, moisture content, clay soil structure, technological parameters of compaction, soil compaction mechanisms, consistency, water saturation coefficient, water permeability, permeability coefficient, physical-mechanical soil characteristics.

References

1. Zharnitsky V. Ya. Operativnoye opredeleniye parametrov Proktora glinistyykh gruntov, ispol'zuemykh dlya ustroystva protivofil'tratsionnykh elementov plotin // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo. – 2005. – № 3. – S. 15–18.
2. Striegler W. Boden mechanische Grenzwertezur Verdichtung natuerlicher Erddichtung sstaffeim Wasserbau // WWT • 18. Jahrgang 1968. Heft2, p. 52–55.
3. Smetanin V. I., Zemskov V. N. Rekul'tivatsiya zemel s ispol'zovaniyem osadkov

stochnykh vod // Prirodoobustroystvo. – 2013. – № 2. – S. 15–20.

4. Evgenjev I. E. O differentsirovaniy trebovaniy k plotnosti gruntov zemlyanogo polotna / Trudy SOYUZDORNII. Uplotneniye zemlyanogo polotna I konstruktivnykh sloev dorozhnykh odezhd. – M.: SOYUZDORNII, 1980. – S. 9–15.

5. Praktika proektirovaniya i stroitel'stva arochnykh, zemlyanykh, kamennonabrosnykh i betonnykh gravitatsionnykh plotin v USA. Plotiny iz mestnykh materialov // Perevod 626.3/II-69. Institut «Gidroproject». – M.: Gidroproject, 1985. – S. 46–48.

6. Lamb T. V. Struktura uplotnennoj gliny // Perevod № 2076. NIS Gydroprojecta. – M.: Gydroproject, 1962. – 35 s.

7. Leflaiv E., Shaefner M. Znachenije tolshchiny sloev dlya uplotneniya nasypi. Perevodsfantsuzskogo // Informatsionnoye izdaniye VINITI «Geologiya». Vypusk 7. Referat E455. – M.: VINITI, 1981. – 8 s.

Received on 03.02.2016.

Information about the authors

Smetanin Vladimiri Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the

chair «Organization and technology of construction of objects of environmental engineering»; FSBEI HE RGAY-MTAA; 127550, Moscow, ul. Boljshaya Akademicheskaya, 44, tel.: 8-499-976-07-13; e-mail: smetanin2000@yandex.ru.

Averyanov Vitaliy Nikolaevich, candidate for a candidate degree, General director of AO «Design-survey research bureau «GITEST»; 125512, Moscow, Leningrads-koye shosse, 43A.; tel. 8 (926) 280-01-20, e-mail: 2800120@mail.ru.

УДК 502/504:631.445.12

А. М. СИЛКИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

Н. Ф. ЖАРНИЦКАЯ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет», г. Иваново

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ И ПРОЧНОСТИ ТОРФОВ

Торф, вследствие своего образования, состава сложения и состояния коренным образом отличается от минеральных грунтов как по деформируемости, так и по прочности. Результаты исследований деформируемости торфов под жестким плоским штампом при постепенно возрастающей нагрузке позволили выявить четыре фазы: уплотнение с перемещением твердых частиц (каркас торфа) в зоне под штампом только вертикально вниз; уплотнение и срез каркаса по периметру штампа с перемещением твердых частиц только вниз; «катастрофический» срез каркаса (провал штампа), выдавливание из него в зоне, находящейся под штампом, вместе с водой гумуса, и боковое расширение каркаса, но с продолжением уплотнения; разрушение каркаса и выдавливание его из-под штампа. Результаты испытаний показали возможность устройства сетевых ГТС с жесткой водопроводящей трубой, уложенной непосредственно на естественное торфяное основание. Результаты исследования торфов как естественных оснований сетевых сооружений мелиоративных систем показали, что прочность торфов в одних случаях обеспечивается их сопротивлением сжатию и срезу, а в других – сопротивлением сжатию и разрыву. Задача – правильно определить эти показатели.

Торф, сапрпель, степень разложения, степень зольности, штамп, водопроводящая часть, трубчатые сетевые сооружения, деформируемость и прочность торфов, зольность конституционная и наносная.

Введение. Торф как основание различных сооружений использовался с древних времен и поныне; в Швейцарии на глубине 2 м в торфе были обнаружены остатки свайных фундаментов, которые, по мнению археологов, были построены за 1000 лет до нашей эры; в Германии в 1918 году при раскопках была обнаружена гать-дорога шириной более 3-х метров, в виде настила из бревен, находящаяся в

торфе на глубине 1,0...1,2 м. Аналогичные дороги на болотах, погребенные слоем торфа мощностью до 3,0 м, были найдены в Голландии, Австрии, Венгрии и других странах. В России на одном из болот Ленинградской области под слоем торфа на глубине 2,5 м была обнаружена шоссе-ная дорога Екатерининского времени. С девятнадцатого века на торфах стали возводить и гидротехнические сооружения.

Материалы и методы исследований.

Торф, как грунт, вследствие своего образования (происхождения), состава сложения и состояния коренным образом отличается от минеральных грунтов как по деформируемости, так и по прочности.

По названию торф имеет с минеральными грунтами ряд общих показателей физических и физико-механических свойств – плотность грунта, плотность сухого грунта, пористость и др. Но торф имеет и свои специфические показатели, такие как степень разложения $D_{др}$ и степень зольности $D_{зс}$.

Теоретически степень разложения торфов изменяется от 0 до 100 %, практически [1, 3, 4] неосушаемые болота России имеют степень разложения 45...50 %.

Степень зольности у торфов, согласно ГОСТ 25100-2011 [1], не может быть более 50 %. В противном случае – это заторфованный минеральный грунт. При этом, до 14 % – это зольность конституционная, а остальные 36 % – это зольность наносная, привнесенная извне.

На кафедре оснований и фундаментов [4] в течение многих лет проводились лабораторные и полевые штамповые испытания с использованием крупноразмерного плоского штампа, размеры которого соизмеримы с размерами подошв сетевых гидротехнических сооружений. Штамп представлял собой специально изготовленную жесткую железобетонную плиту с размерами в плане 1х4,6 м, вес которой составлял 4 т, а среднее контактное давление от собственного веса по его подошве 9 кПа [3].

Результаты исследований позволили деформируемость торфов под жестким плоским штампом при постепенно возрастающей (ступенями) нагрузке разделить на четыре фазы:

1. уплотнение с перемещением твердых частиц (каркас торфа) в зоне под штампом только вертикально вниз;

2. уплотнение и срез каркаса по периметру штампа с перемещением твердых частиц только вниз;

3. «катастрофический» срез каркаса (провал штампа), выдавливание из него в зоне, находящейся под штампом, вместе с водой гумуса, и боковое расширение каркаса, но с продолжением уплотнения;

4. разрушение каркаса и выдавливание его из-под штампа.

Картина деформируемости под жестким плоским штампом при постепенно возрастающей нагрузке у всех торфов одинакова. Она складывается из одних и тех же фаз, но каждой фазе соответствует определенный интервал нагрузок, зависящий от физического состояния торфов. Например, с ростом степени разложения неосушаемых торфов интервалы нагрузок, соответствующие тем или иным фазам, уменьшаются. Некоторые фазы могут быть совершенно незаметны. Они могут быть незаметны и в зависимости от соотношения мощности торфа и размеров подошвы штампа. Так, при соотношении менее единицы первая фаза практически совмещается со второй, а третья – с четвертой.

Схемы деформируемости торфяного основания в процессе нагружения и разгрузки, зафиксированная инструментально и визуалью в одном из полевых опытов, показана на рисунке 1. Первой фазе соответствуют рисунки 1б и 1в, второй фазе – рисунок 1г, а третьей фазе – рисунки 1д и 1е. Следует отметить, что при степени разложения 45...50 % торф неосушаемых болот под жестким штампом четвертой стадии деформирования не имеют. Осадка штампа во всех опытах при равномерно распределенной нагрузке была равномерной.

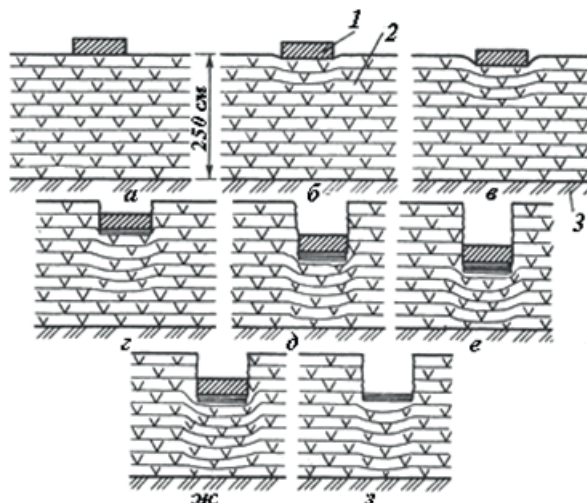


Рис. 1. Схема деформируемости торфяного основания под жестким крупноразмерным штампом в процессе нагружения и разгрузки: а – нагрузка не приложена; б...е – под нагрузкой; ж, з – после разгрузки; 1 – плита-штамп; 2 – торфяное основание; 3 – грунт минерального дна болота

При устройстве сетевых гидротехнических сооружений на торфяных основаниях можно допускать все три возможные фазы их деформирования. Задача заключается лишь в правильном определении расчетных показателей торфов, необходимых при прогнозировании осадки сооружений. Здесь следует отметить, что сетевые ГТС мелиоративных систем на торфах передают на основания нагрузку не более 50...60 кПа.

С целью проверки возможности устройства сетевых гидротехнических сооружений на естественном торфяном основании были построены два сооружения: трубчатый регулятор с переездом и труба-переезд. Звенья труб водопроводящей части обоих сооружений были уложены на жесткую фундаментную плиту с плоской подошвой. Оба сооружения были построены в 1973–1974 гг. Наблюдения за их эксплуатацией в течение более двадцати лет показали, что они находятся в хорошем для эксплуатации состоянии (рис. 2).



Рис. 2. Состояние сетевых сооружений на торфяном основании на сентябрь 2013 г. (Яхромская пойма)

Изучив в достаточной степени физико-механические свойства торфов, убедившись в возможности устройства трубчатых сетевых гидротехнических сооружений со звеньями труб водопроводящей части на жесткой фундаментной плите, было решено исследовать деформируемость торфов в основании жесткого цилиндрического штампа (трубы) для того, чтобы выявить возможность устройства водопроводящей части из жесткой неразрезной трубы, уложенной непосредственно на естественное торфяное основание.

В качестве цилиндрических штампов на разных болотах были использованы гладкие железобетонные трубы с внешним диаметром 73, 75, 94, 96, 120 и 170 см. Линейные нагрузки в разных экспериментах составляли от 5 до 100 кН/м.

На рисунке 3 показана картина деформированного состояния торфов основания трубы с внешним диаметром 75 см после снятия нагрузки.

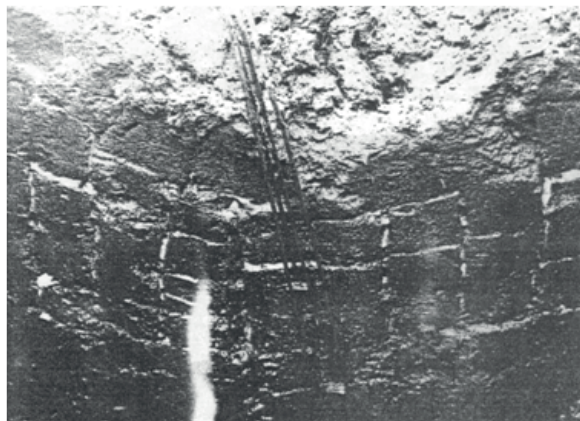


Рис. 3. Картина деформированного состояния торфяного основания трубой $d = 75$ см (Яхромская пойма)

Во всех экспериментах выдавливание торфов из-под труб не происходило. Поверхность торфяной залежи с боков от труб прогибалась и при больших прогибах (при больших нагрузках) торф (его каркас) разрывался. После полного снятия нагрузки поверхность торфяной залежи, вследствие упругости каркаса торфа, восстанавливала свое первоначальное состояние. Во всех экспериментах торф под трубой имел в основном деформацию сжатия.

Результаты штамповых испытаний показали возможность устройства сете-

вых ГТС с жесткой водопроводящей трубой, уложенной непосредственно на естественное торфяное основание. Для подтверждения этой возможности было построено четыре экспериментальных переезда: два с диаметром труб 100 см и два с диаметром труб 120 см. Они показали хорошую эксплуатационную пригодность.

Аналогичную картину деформируемости (как под трубами) имеют торфы и в основаниях узких насыпей, например, в основаниях дамб обвалования.

Теоретически, как под трубами, так и под узкими насыпями торф основания может потерять свою прочность. Но в действительности это не происходит из-за небольших нагрузок, передаваемых ими на торфяное основание [5].

Опасность потери торфом прочности представляет собой устройство сооружений на двухслойном основании. Здесь имеется ввиду, что двухслойность – это слой торфа, подстилаемый жидкими образованиями, например, сапропелем или водой.

В этом случае торфяной ковер сжимается и прогибается. При прогибе под узкими насыпями нижняя часть торфяного ковра, в первую очередь по оси насыпи, работает на разрыв (рис. 4). Этот разрыв распространяется снизу вверх, в результате чего узкая насыпь проваливается.

Под широкими насыпями прогиб происходит по подошве откоса насыпи, а разрыв идет сверху вниз. Следовательно, прочность определяется (обуславливается) не сопротивлением торфа срезу «по периметру подошвы», а сопротивлением разрыву.

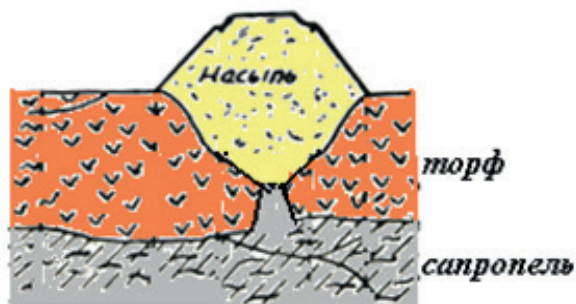


Рис. 4. Схема деформирования торфяного ковра при «двухслойном» основании

Сопротивление торфа срезу «по периметру» необходимо знать и при оценке проходимости различных машин как

транспортных, так и строительных. При этом, важное значение имеет обстоятельство – движется машина без остановок или с остановками.

При движении транспортного средства без остановок его проходимость может обеспечить верхний довольно толстый (50...70 см) слой торфа, состоящий из неразложившихся растений, так называемый очес, играющий роль гати. Однако, если движутся одновременно несколько машин, то их движение должно быть не «след в след». Каждая машина должна двигаться по своему маршруту.

При оценке проходимости строительных машин важное значение имеет – машина циклического действия (например, одноковшовый экскаватор) или непрерывного действия (например, многоковшовый экскаватор).

Под стоящей или работающей машиной очес сильно сжимается и вся нагрузка транспортного средства передается уже на торф. Чтобы машина потеряла проходимость достаточно ее движителю погрузиться в торф на 20...30 см.

Вывод

Результаты исследования торфов как естественных оснований сетевых сооружений мелиоративных систем показали, что прочность торфов в одних случаях обеспечивается их сопротивлением сжатию и срезу, а в других – сопротивлением сжатию и разрыву. Задача состоит в том, чтобы правильно определить эти показатели.

Библиографический список

1. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – М.: «Стандартинформ», 2013. – 63 с.
2. Некрасова Т. В. Исследование напряженного состояния торфяного основания под трубами // Современные проблемы водного хозяйства и природообустройства: тез. док. научно-теоретической конф. – М.: МГУП, 1997. – 250 с.
3. Приходько Ю. С., Силкин А. М. Исследование напряженно-деформированного состояния торфяного основания / в кн.: Экспериментально-теоретические исследования процессов упруго-пластичного деформирования основания и фундаментов. Межвузовский сборник. – Новочеркасск.: 1980. – С. 104–108.
4. Силкин А. М. Сооружения мелиоративных систем в торфяных грунтах. – М.: Агропромиздат, 1986. – 136 с.

5. Цыганков А. Ф. Результаты исследований дамб, возводимых на торфяных основаниях. Труды института мелиорации, водного и болотного хозяйства. Том III, АН БССР. – Минск.: АН БССР, 1953. – 260 с.

Материал поступил в редакцию 27.01.2016.

Сведения об авторах

Силкин Александр Михайлович, доктор технических наук, заслуженный деятель

науки РФ, профессор кафедры «Основания и фундаменты, строительство и экспертиза объектов недвижимости»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д.44; тел. +7(916) 510 43 64.

Жарницкая Надежда Федоровна, старший преподаватель кафедры «Экономика и финансы»; ФГБОУ ВО ИВХТУ; 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 7; тел. +7(909) 24987 20.

A. M. CILKIN

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

N. F. ZHARNITSKAYA

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«The Ivanovo state chemical-technological university», Ivanovo

PECULIARITIES OF THE DEFORMABILITY OF PEATS STRENGTH

Peat as a consequence of its formation, composition and state differs drastically from mineral soils on both deformability and strength. The results of investigations of peat deformability under hard plane stamp under a gradually increasing load allowed reveal four phases: compaction with movement of solid particles (peat carcass) in the zone under the stamp only vertically downwards; compaction and cutting of the carcass along the stamp perimeter with movement of solids only downwards; «catastrophic» cut of the carcass (stamp downfall), stamping out of it in the zone under the stamp together with the humus water, and side widening of the carcass but with the compaction continuation; carcass breakage and its stamping out. The tests results showed a possibility of HTS arrangement with a rigid water conveying pipe laid on the natural peat base. The research results of peat as natural bases of network structures of reclamation systems showed that peat strength is ensured by resistance to compression and cutting in one cases, and in other cases – resistance to compression and breakage. The task is only to determine these indicators correctly.

Peat, sapropel, degree of decomposition, degree of ash content, stamp, water conveying part, tubular network structures, deformability and peat strength, constitutional and alluvial ash content.

References

1. GOST 25100-2011. Grunty. Classificatsiya. – M.: «Standartinform», 2013. – 63 s.
2. Nekrasova T. V. Issledovaniye napryazhennogo sostoyaniya torfyanogo osnovaniya pod trubami // Sovremennyye problemy vodnogo hozyaistva I prirodoobustroystva: tez. Dok. Nauchno-teoreticheskoy conf. – M.: MGUP, 1997. – 250 s.
3. Prikhodjko Yu. S., Silkin A. M. Issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya torfinogo osnovaniya / v kn.: Eksperimentaljno-teoreticheskije issledovaniya protsessov uprugoplastichnogo deformirovaniya osnovaniya I fundamentov. Mezhvuzovskiy sbornik. – Novocherkassk.: 1980. – P. 104–108.
4. Silkin A. M. Sooruzheniya meliorativnyh system v torfyanykh gruntah. – M.: Agropromizdat, 1986. – 136 s.
5. Tsygankov A. F. Rezul'taty issledo-

vanij damb, vozvodimyh na torfyanyh osnovaniyah. Trudy institute melioratsii, vodnogo I bolotnogo hozyaistva. Tom III. AN BSSR. – Minsk.: AN BSSR, 1953. – 260 s.

Received on 27.01.2016.

Information about the authors

Silkin Alexander Mikhailovich, doctor of technical sciences, honored scientist of RF, professor of the chair «Bases and foundations, building and assessment of the property objects»; FSBEI HE FSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Bol'shaya Acedemicheskaya, 44; tel.: +7(916) 510 43 64.

Zharnitskaya Nadezhda Fedorovna, senior lecturer of the chair «Economics and finance»; FSBEI HE IvChTU; 153000, Ivanovo, pr. Sheremetjevsky, 7; tel.: +7(909) 24987 20.

УДК 502/504:621.644:532.54

О. Н. ЧЕРНЫХФедеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва**В. И. АЛТУНИН**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва**А. В. БУРЛАЧЕНКО**

CAO Mercedes-Benz, г. Москва

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ДОРОЖНЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

Приведены результаты гидравлических исследований спиральновитой металлической гофрированной трубы (СМГТ). Рассматривается ее работа в различных гидравлических режимах, даются рекомендации по назначению расчетного режима. Отмечается, что гофрированные металлические трубы можно проектировать на пропуск максимального расхода в частично-напорном и напорном режимах. Отмечены особенности механизма смены гидравлических режимов работы в гладких и гофрированных трубах. Выполненные экспериментальные гидравлические исследования модели металлической гофрированной трубы с $d = 1,2$ м без входного оголовка со срезом, перпендикулярным оси трубы, со спиральным гофром размером 125x25 мм позволяют сделать следующие выводы. Проведенные исследования позволили получить значения параметров расхода, при которых происходит «зарядка» исследованной модели СМГТ при различных ее уклонах. На экспериментальной модели установлено, что СМГТ самопроизвольно заряжается и устойчиво работает сначала в частично-напорном режиме, который затем плавно сменяется напорным режимом. Получена зависимость для определения длины конечного безнапорного участка СМГТ, работающей в частично-напорном режиме.

Спиральновитая металлическая гофрированная водопропускная труба, экспериментальные исследования, гидравлические режимы работы, коэффициент шероховатости.

Введение. В современных условиях интенсификации транспортных потоков очень важно при строительстве транспортных магистралей обеспечивать их безопасную и бесперебойную работу [1, 3]. Неотъемлемой составной частью любой автомобильной дороги являются дорожные водопропускные сооружения, которые обеспечивают пропуск поверхностных вод под насыпью дороги. В подавляющем большинстве своем это дорожные водопропускные трубы.

Наряду с традиционными бетонными трубами в настоящее время все большее применение при строительстве новых и особенно при реконструкции старых автомобильных и железных дорог находят металлические гофрированные трубы (МГТ) (рис. 1). В немалой степени это связано с появлением возможности использовать в РФ начиная с 2008 г., инновационных конструкций МГТ со спиральной формой гофра.



а



б

Рис. 1. Водопропускные сооружения из металлических гофрированных конструкций: а – замена железобетонного моста на металлическую гофрированную трубу (МГТ), ЗАО Гофросталь; б – спиральновитая металлическая труба (СМГТ)

Спиральноовитые металлические гофрированные трубы (СМГТ) отличаются от традиционных МГТ с нормальным гофром тем, что волна гофрированного листа у них направлена не по диаметру, как у МГТ, а составляет острый угол с ним. Они выпускаются секциями любой длины от 1 м до 13,5 м по желанию заказчика и соединяются на бандажах. Поэтому из СМГТ исключена утечка воды, а собранная за 1,5–2 часа труба длиной до 27 м имеет повышенную жесткость. Относительная легкость конструкции позволила использовать гофрированные структуры при выполнении капитального ремонта водопропускных труб методом гильзования без вскрытия земляной насыпи и остановки движения транспортного потока. Замена бетонной водопропускной трубы осуществляется без ее демонтажа путем вставки меньшей по размеру гофрированной трубы. Пространство между трубами заполняется раствором бетона и получается практически новая водопропускная труба с нормативным сроком безаварийной эксплуатации не менее 50...70 лет [2].

Согласно действующему в России с 2009 г. отраслевому дорожно-методическому документу (ОДМ) [1] водопропускные трубы из металлических гофрированных конструкций на автомобильных дорогах постоянного использования должны проектироваться на пропуск расчетного расхода в безнапорном режиме. При этом между поверхностью потока в трубе диаметром до 3,0 м и шельгой ее свода должен сохраняться зазор не менее j отверстия трубы в свету, а в трубах диаметром более 3,0 м – не менее 0,75 м. Кроме того, рекомендуется ограничивать заполнение входного и выходного сечений МГТ при пропуске как расчетного, так и наибольшего расходов в безнапорном режиме. Величина заполнения водопропускного отверстия не должна превышать соответственно 0,75 и 0,9 от высоты МГТ. Работа МГТ в полунапорном или напорном (частично-напорном) режимах нормами допускается [1], но только при их устройстве на временных автомобильных дорогах. Такой подход объясняется опасением разработчиков ОДМ того, что при смене полунапорного режима напорным режимом, называемым «зарядкой», в гофрированной трубе сформируется переходный гидравлический режим, как это происходит в гладких водопропускных трубах. При переходном режиме обычная

гладкостенная водопропускная труба работает в неудовлетворительных гидравлических условиях, поскольку в трубу поступает воздух и наблюдается нестационарное движение, как в самой трубе, так и на выходе из нее.

Работа любых водопропускных труб в переходном режиме справедливо считается недопустимой. Однако перенос условий гидравлической работы гладкостенных труб на гофрированные трубы при «зарядке», выполнен составителями ОДМ без какого-либо обоснования, что нельзя считать корректным и оправданным. Несмотря на то, что нормами [1] допускается работа водопропускных МГТ при пропуске расчетного расхода в полунапорном и напорном режимах (например, если они устраиваются на временных автомобильных дорогах), но не приводятся рекомендации по выполнению гидравлического расчета при этих режимах.

Материалы и методы исследований.

Учитывая отмеченные выше особенности в лаборатории кафедры гидравлики МАДИ проводятся экспериментальные гидравлические исследования модели СМГТ с внутренним диаметром $d = 240$ мм и гофром 25×5 мм (угол спиральности $\varphi = 9^\circ 21'$), которая в масштабе 1:5 моделирует натурную трубу $d = 1200$ мм с гофром 125×25 мм [9]. Исследуемая модель трубы состоит из четырех секций, соединяемых на фланцах с общей длиной $l = 408$ см с различными уклонами $i_t = 0,01...0,05$. Вход в СМГТ выполнен без оголовка со срезом, перпендикулярным оси трубы (рис. 2), а на выходе устроена порталная стенка. Моделирование СМГТ проводится по Фрудру с назначением масштаба модели из условия обеспечения при напорном движении водного потока квадратичной области сопротивления с диаметром трубы при этом не менее 20 см, поскольку согласно исследованиям ЦНИИС [9], при меньшем размере модели МГТ на гидравлические сопротивления начинает влиять размер модели, т. е. начинает сказываться масштабный эффект. Секции СМГТ в натуральных условиях соединяются на бандажах, поэтому концевые участки секций труб обычно выполняются с нормальной формой гофра. Экспериментальная модель на концевых участках имела три длины волны нормального гофра 68×13 мм ($13,54 \times 2,54$ мм при масштабе 1:5). В качестве расчетного диаметра исследованной модели СМГТ принимался минимальный внутренний диаметр в свету. Для

регистрации поверхности воды в трубе при безнапорном движении и пьезометрического давления в различных сечениях по длине трубы при напорном, по ее дну между выступами гофров (у внешнего диаметра), были установлены пьезометры.

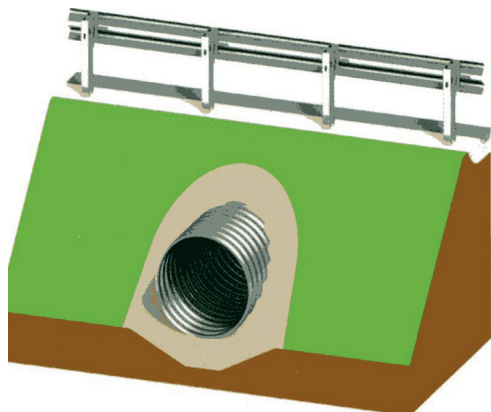


Рис. 2. Общий вид водопропускной металлической гофрированной трубы диаметром 1,5 м из листа толщиной 1,5...3 мм со спиральновитым гофром

Подводящий и отводящий к трубе лотки имели прямоугольную форму и выполнялись из оргстекла. Уровни свободной поверхности воды перед трубой и за ней регистрировались с помощью мерной иглы. Расходы Q измерялись треугольным водосливом Томсона с тонкой стенкой. Обработка опытных данных осуществлялась с помощью специально разработанной компьютерной программы [3].

Результаты исследований. Исследования показали, что модель СМГТ самопроизвольно «заряжается» и устойчиво работает сначала в частично-напорном режиме, который затем плавно сменяется напорным режимом. Вследствие повышенных сопротивлений по длине МГТ ее пропускная способность после «зарядки» существенно не увеличивалась. Поэтому уменьшение напора H перед трубой после «зарядки» не приводило к оголению входного оголовка, поступлению в трубу воздуха и формированию переходного гидравлического режима даже при максимально допустимом уклоне ($i_t = 0,05$) по действующим рекомендациям [1].

Следует отметить, что после «зарядки» над входом без оголовка формировалась устойчивая воронка переменной интенсивности, через вихревой шнур

которой в трубу поступал воздух. Однако это не нарушало устойчивость напорного движения водного потока в трубе и практически не оказывало влияние на ее пропускную способность.

Как известно, в гладкой трубе с обычными типами входного оголовка при таких условиях происходит отрыв потока от стенок трубы и формирование переходного гидравлического режима. В трубе наблюдается гидравлический прыжок, занимающий различное положение в зависимости от интенсивности вихревой воронки, определяющей количество поступающего в трубу воздуха. При работе гладкой трубы с неподтопленным выходным отверстием гидравлический прыжок «выскакивает» из трубы, происходит ее «разрядка» и срыв напорного режима. Труба начинает работать в полунпорном режиме, при котором пропускная способность гладкостенной трубы существенно снижается. Поэтому увеличивается напор H , обеспечивающий пропуск поступающего в трубу расхода Q , что приводит к переливу воды через дорожную насыпь, если в качестве расчетного принят напорный режим. В результате происходит разрушение дорожной насыпи, конструкция которой не предусматривает перелив через нее водного потока. При этом нарушается гидрологическая и техническая безопасность всего водопропускного комплекса и движения автотранспорта на магистрали, что приводит к значительному материальному ущербу.

Все вышеописанное объясняется пониженными гидравлическими сопротивлениями по длине в гладкой трубе и сжатием потока на ее входе. Поэтому на входном участке гладкой трубы формируется вакуумметрическое давление, которое меняется при попадании в трубу воздуха через вихревую воронку. Вихревые воронки нарушают устойчивость напорного режима в гладкой трубе, снижают ее пропускную способность и даже приводят к срыву напорного режима. Проектировать гладкие бетонные трубы на работу в напорном режиме вследствие этого не следует.

Как показывают эксперименты, попадание воздуха в исследуемую модель СМГТ через вихревую воронку не приводит к вышеописанным негативным по-

следствиям. Объясняется это тем, что в ней не формируется вакуумметрическое давление на входе вследствие повышенного гидравлического сопротивления гофрированной поверхности трубы. Эксперименты показали, что для исследуемой модели СМГТ диаметром 1,2 м с гофром размером 125x25 мм величину коэффициента шероховатости при напорном движении водного потока можно принимать равной $n = 0,027$ [2] Это заметно выше рекомендуемого в справочнике [4] значения $n = 0,022$ для трубы с таким же нормальным гофром и диаметром. Такое существенное расхождение (~22,7 %) свидетельствует о том, что в существующих зарубежных рекомендациях [4], где приводятся заметно меньшие величины коэффициентов шероховатости по сравнению с реальными величинами, данные не обоснованы экспериментальными гидравлическими исследованиями. Для СМГТ с гофром 125x25 мм при диаметрах $d > 1,2$ м угол спиральности уменьшается по сравнению с исследованным ($\varphi = 9^\circ 21'$). Это может привести к некоторому увеличению значений коэффициента шероховатости [3]. Однако, учитывая, что уменьшение φ небольшое (не более 5°) значение коэффициента шероховатости для труб с $d > 1,2$ м можно принимать таким же, то есть $n = 0,027$, до получения достоверных экспериментальных данных.

Проведенные исследования позволили получить значения параметров расхода $\theta = Q / d^2 \sqrt{gd}$, при которых происходит «зарядка» исследованной модели СМГТ ($\theta_{\text{зар}}$) при различных ее уклонах. Так при $i_T = 0,01; 0,02; 0,03$ и $0,05$ величины $\theta_{\text{зар}}$ оказались соответственно равными 0,515; 0,58; 0,634 и 0,756 (рис. 3).

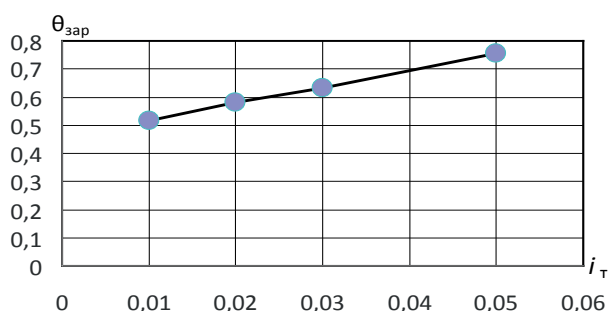


Рис. 3. График зависимости $\theta_{\text{зар}} = f(i_T)$ для исследованной модели СМГТ с входом без оголовка со срезом, перпендикулярным оси трубы

Зависимость $\theta_{\text{зар}}$ от уклона трубы i_T с достаточной точностью (максимальная ошибка не превышает 1 %) описывается следующей линейной зависимостью:

$$\theta_{\text{зар}} = 0,46 + 6 i_T. \quad (1)$$

Как отмечалось выше, после «зарядки» исследованной модели СМГТ происходит небольшое уменьшение относительного напора (H/d) перед трубой, зависящее от ее уклона. С увеличением i_T возрастают значения $\theta_{\text{зар}}$ и $(H/d)_{\text{зар}}$ и большим оказывается снижение. Так при максимально допустимом уклоне СМГТ $i_T = 0,05$ «зарядка» наступает при $\theta_{\text{зар}} = 0,756$ и $(H/d)_{\text{зар}} = 1,85$. После «зарядки» относительный напор снижается до $H/d = 1,45$. При уклоне трубы $i_T = 0,03$ после «зарядки», наступающей при $(H/d)_{\text{зар}} = 1,49$, относительный напор снижается весьма незначительно (до $H/d = 1,4$). При исследованных уклонах $i_T = 0,02$ и $0,01$ уменьшения напора перед трубой после «зарядки» практически не происходит.

После «зарядки», исследованная модель СМГТ на большей части своей длины работает полным сечением, но на концевом участке трубы наблюдается безнапорное движение (рис. 4). Такой режим называется частично-напорным. Расчет пропускной способности трубы при этом режиме выполняется по тем же формулам, что и при напорном режиме при отсутствии подтопления ее выходного отверстия [3], но расчетная длина гофрированной трубы уменьшается на длину концевго безнапорного участка l_k [5]. С увеличением параметра расхода θ относительная длина концевго безнапорного участка l_k/d уменьшается.

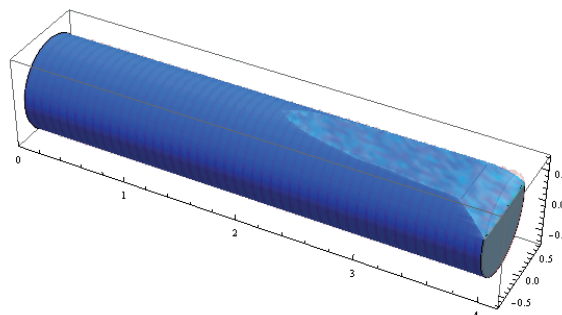


Рис. 4. 3D модель движения водного потока в исследованной модели СМГТ при частично-напорном режиме с концевым безнапорным участком

Определить относительную длину l_k/d после «зарядки» исследованной конструкции СМГТ вне зависимости от ее уклона можно по зависимости:

$$l_k/d = 4,5 - 4,1\theta. \quad (2)$$

При $\theta \geq 1,1$ длину концевой безнапорного участка следует принимать равной нулю, то есть считать, что в трубе на всей длине движение напорное и она работает в напорном режиме с незатопленным выходным отверстием.

Выводы

Выполненные экспериментальные гидравлические исследования модели металлической гофрированной трубы с $d = 1,2$ м без входного оголовка со срезом, перпендикулярным оси трубы, со спиральным гофром размером 125х25 мм позволяют сделать следующие выводы:

спиральновитая металлическая гофрированная труба самопроизвольно «зарядается» и устойчиво работает в частично-напорном режиме, который плавно сменяется напорным режимом; СМГТ можно проектировать на работу в полунапорном, частично-напорном и напорном гидравлических режимах;

«зарядка» исследованной СМГТ происходит достаточно плавно при параметре расхода $\theta_{зар}$, устанавливаемом по зависимости (1), даже при максимально допустимом ее уклоне $i_t = 0,05$; после «зарядки» СМГТ работает в частично-напорном режиме с концевым безнапорным участком, относительная длина которого устанавливается по предлагаемой зависимости (2).

Библиографический список

1. «Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (Дорожно-климатических зон).

ОДМ 218.2.001-2009. – М.: ФДА (РОСАВТОДОР), 2009. – 200 с.

2. Алтуний В. И. О гидравлическом расчете дорожных водопропускных труб из гофрированного металла/ В. И. Алтуний, О. Н. Черных //ДОРОГИ и МОСТЫ.– 2015. – № 33/1. – С. 234–247.

3. Алтуний В. И. Водопропускные трубы в транспортном строительстве. Гидравлическая работа труб из металлических гофрированных структур / В. И. Алтуний, О. Н. Черных, М. В. Федотов – М.: МАДИ, 2012. – 240 с.

4. Modern Sewer Design. AISI, Washington, fourth edition 1999.

5. Алтуний В. И., Черных О. Н., Бурлаченко А. В. Экспериментальные исследования металлической гофрированной водопропускной трубы при частично-напорном режиме. // Приволжский журнал. – 2015. – № 1. – С. 28–36.

Материал поступил в редакцию 28.11.2015.

Сведения об авторах

Черных Ольга Николаевна, кандидат технических наук, профессор кафедры «Гидротехнические сооружения» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550 г. Москва, ул. Большая Академическая, д.44; тел. 8 (499) 190-53-43; e-mail: gtsmgup@mail.ru.

Алтуний Владимир Ильич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидравлика»; ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»; 125319, Москва, Ленинградский проспект, д.64.; тел.: 8 (499) 155-03-16; e-mail: chtara@mail.ru.

Бурлаченко Алена Владимировна, специалист CAO Mercedes-Benz; 125167 Москва, Ленинградский пр-т, 39; тел.: 8 (499) 6180514; e-mail: a.burlachenco@dimler.com.

O. N. CHERNYKH

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

V. I. ALTUNIN

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Moscow automobile-road state technical university (MADI)», Ivanovo

A. V. BURLACHENCO

SAO Mercedes-Benz, Moscow

INCREASE OF EFFECTIVENESS OF THE HYDRAULIC OPERATION OF ROAD CULVERT PIPES

There are given results of hydraulic researches of spiral metal corrugated pipe (SMGT). Its operation is examined in different hydraulic regimes, there are given recommendations on assigning a rated regime. It is noted that corrugated metal pipes can be designed on maximal consumptions in partially-pressurized and pressurized regimes. There are noted peculiarities of the mechanism of the change of hydraulic regimes of operation in smooth and corrugated pipes. The fulfilled experimental hydraulic researches of the model of the metal corrugated pipe with $d = 1,2$ m without inlet headwall with a cut perpendicular to the pipe axis, with a spiral corrugation of a size 125x25 mm allow draw the following conclusions. The performed investigations allowed obtain values of consumption parameters under which "charging" of the investigated model SMGT takes place under its different inclinations. On the experimental model it is established that SMGT spontaneously is charged and steadily operates at first in the partially-pressurized regime which then is smoothly changed by a pressurized regime. There is obtained dependence for determination of the length of the end non-pressure part of SMGT operating in the partially-pressurized regime.

Spiral metal corrugated culvert pipe, experimental researches, hydraulic regimes of operation, coefficient of roughness.

References

1. Rekomendatsii po proektirovaniyu i stroitelstvu vodopropusknykh sooruzhenij iz metallicheskih gofirovannykh struktur na avtomobilnykh dorogah obshhego pol'zovaniya s uchetom regionalnykh uslovij (Dorozhno-klimaticheskikh zon). ODM 218.2.001-2009. – M.: FDA (ROSAVTODOR), 2009. – 200 s.

2. Altunin V. I. O vodopropusknykh trub raschete dorozhnykh vodopropusknykh trub iz gofirovannogo metalla / V.I. Altunin, O.N. Chernyh // DROGI i MOSTY. – 2015. – № 33/1. – S. 234–247.

3. Altunin V. I. Vodopropusknye truby v transportnom stroitelstve. Hydraulicheskaya rabota trub iz metallicheskih gofririvannykh struktur / V.I. Altunin, O.N. Chernyh, M.V. Fedotov. – M.: MADI, 2012. – 240 s.

4. Modern Sewer Design. AISI, Washington, fourth edition 1999.

5. Altunin V. I., Chernyh O. N., Burlachenko A. V. Eksperimentalnye issledovaniya metallicheskih gofririvannoi vodopropusknoi truby pti chastichno-napornom

rezhime. // Privolzhsky zhurnal. – 2015. – № 1. – S.28–36.

Received on 28.11.2015.

Information about the authors

Chernykh Olga Nikolaevna, candidate of technical sciences, professor of the chair «Hydraulic structures» FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550 Moscow, ul. Bol'shaya Akademicheskaya, 44; tel. : +7 (499) 190-53-43; e-mail: gtsmgup@mail.ru.

Altunin Vladimir Il'ich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Hydraulics» FSBEI HE «The Moscow automobile-road state technical university (MADI)»; 125319, Moscow, Leningradsky prospect, 64.; tel.: 8 (499) 155-03-16; e-mail: chtara@mail.ru.

Burlachenko Alena Vladimirovna, specialist SAO Mercedes-Benz, 125167, Moscow, Leningradsky pr-t, 39, tel.: 8(499) 618054; e-mail: a_burlachenko@dimler.com.

УДК 502/504:621.644

А. В. ЧИСТЯКОВА, В. А. ОРЛОВ, В. А. ЧУХИНФедеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва**ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ**

Рассмотрены методы оценки технического состояния металлических трубопроводов с помощью внутритрубного и наружного (наземного) диагностирования. Приведены классификация и функции телевизионных роботов. Представлены возможности метода оценки состояния трубопроводов путем использования бесконтактной магнитометрической диагностики с интерпретацией результатов полевых испытаний. Целью исследования является проведение экспериментов на стальном трубопроводе с выявлением и регистрацией напряженности магнитного поля, отыскание различного рода аномалий (свищей, трещин, коррозии, расслоения) и их идентификация. Используются аналитический и экспериментальный методы исследования с помощью прибора измерителя концентрации напряжений и специализированных датчиков без прямого доступа к поверхности металла (без шурфования, без снятия изоляции и без зачисток поверхности трубопроводов) с получением магнитограмм с аномалиями по видам повреждений. При движении устройства по трассе трубопровода на экране прибора отображается пройденное оператором расстояние от начальной до конечной точек контроля и определяются участки, работающие в наиболее напряженных условиях и предрасположенные к повреждениям. В результате проведенных в полевых условиях анализов, обнаружена трещина протяженностью более 200 мм, утонение стенки до 1,5 мм вместо 10 мм по номиналу и наличие кабеля. По результатам сканирования получена магнитограмма, отображающая фактическое напряженно-деформированное состояние с экстремальными участками.

Диагностика, трубопровод, повреждения, внутритрубный и бесконтактный контроль, телероботы, магнитометрическое обследование.

Введение. Для надежной работы подземных трубопроводов и сооружений на сети периодически или планово должен осуществляться выборочный или сплошной контроль их технического состояния для предупреждения негативных последствий, которые могут быть вызваны тем или иным видом проявляющихся дефектов. Аналогичные мероприятия проводятся при подготовке к ремонтно-восстановительным работам на сетях, причем в обязательном порядке должны подвергаться контролю все участки трубопроводной сети, за исключением тех, которые согласно проекту подлежат разрушению и замене.

Материалы и методы исследования. Комплекс диагностического обследования, как правило, заключается как в наружном (наземном) диагностировании трассы, включая места доступа к трубопроводам через колодцы, так и внутритрубном диагностировании.

В настоящее время диагностика подземных участков металлических трубопроводов производится различными мето-

дами [1], зависящими от протяженности сетей, их диаметра, расположения по глубине залегания, скученности подземной трубопроводной и иной инфраструктуры, местных условий и др. Из существующих методов обследования трубопроводов, наибольшее распространение и применение получили: визуально-измерительный, вихретоковый, акустико-эмиссионный, рентгенографический и тепловизионный контроль, а также магнитопорошковая дефектоскопия, контроль на основе ультразвукового метода (толщинометрия, дефектоскопия, ультразвуковой контроль (УЗК-скрининг), дюрометрический анализ (твердометрия), видеодиагностика (телеинспекция), контроль с использованием шумомеров (течеискателей), метод магнитной памяти металла и бесконтактное магнитометрическое обследование.

Из перечисленных методов лидирующее место на практике при обследовании трубопроводных сетей занимает видеодиагностика (телеинспекция с применением телевизионных роботов), а в последнее время новый уникальный

метод бесконтактного магнитометрического обследования.

Оборудование для телеинспекции позволяет не только обнаружить и идентифицировать дефекты, но и прогнозировать их появление [2]. Телевизионные роботы представляют собой перемещающиеся внутри трубопровода транспортные модули на колесном, гусеничном ходу, салазках или плавающие [3] и использующие специальные диагностические комплексы, включающие ультразвуковой датчик-толщиномер, который с высокой точностью определяет остаточное количество металла в сечении трубопровода, в том числе под слоем отложений, а также обнаруживает трещины протяженностью не менее 50 мм.

Телевизионные роботы могут совмещать функции диагностики технического состояния трубопроводов и локального ремонта отдельных его участков. В этом случае они называются ремонтными роботами [4].

Инспекция трубопроводов осуществляется цветной телекамерой с высокой разрешающей способностью и цифровым увеличением изображения, что позволяет получать детализированную информацию о техническом состоянии сети. Видеосъемка может производиться круглосуточно и независимо от погодных условий.

В зависимости от целей проведения работ и диаметра трубопровода, принята следующая классификация телеинспекционных роботов:

переносные проталкиваемые телекамеры с черно-белым или цветным монитором, углом бокового обзора 63 град. с возможностью фокусировки изображения, предназначенные для оперативной диагностики технического состояния труб диаметром от 40 до 300 мм на расстояние до 100 м;

дистанционно-управляемые телекамеры с цветным монитором, углом бокового обзора 75 град. с возможностью фокусировки изображения, используемые для диагностики технического состояния труб диаметром от 100 до 1200 мм на расстояние до 1000 м; снабжаются разъемом для подключения персонального компьютера;

дистанционно-управляемые телекамеры с сателлитами, то есть дополнительными телекамерами; система предназначена для

одновременного проведения инспекции основного трубопровода и примыкающих к нему по ходу движения ответвлений диаметром 100...200 мм и длиной от 25 до 50 м;

специализированные телекамеры (беспроводные и глубинные для скважин).

С помощью телероботов осуществляется не только выборочная инспекция аварийных участков трубопроводов, но и плановый мониторинг действующих водопроводных сетей с выявлением, анализом и систематизацией повреждений на сетях для последующего создания полных паспортов технического состояния трубопроводной сети. Эти задачи становятся неотъемлемой составной частью работы служб эксплуатации, в обязанности которых входит принятие оптимальных решений о необходимости прочистки сетей, выборе метода восстановления, реконструкции или модернизации действующих трубопроводов.

Планирование ремонтов на основе предварительной оценки состояния протяженных подземных участков трубопроводов с использованием традиционных методов неразрушающего контроля представляется возможным только в случае определения участков труб, работающих в наиболее напряженных условиях и predisposed к повреждениям. Используя телероботы, не всегда можно делать точные выводы о состоянии металлических стенок и работоспособности всей трассы трубопровода. В данной ситуации, для решения задачи по обеспечению безаварийной работы протяженных подземных трубопроводов, в настоящее время в России активно внедряется бесконтактная магнитометрическая диагностика [5].

Известно, что большинство металлоконструкций и трубопроводов, изготовленных из ферромагнитных материалов, под действием рабочих нагрузок подвержены «самонамагничиванию» в магнитном поле земли. Изучив это явление намагничивания на примере работы котельных труб, было предложено использовать его для целей технической диагностики. На основе этого явления, а именно, наличия собственного магнитного поля трубопровода, разработан метод контактного контроля, который получил название «метод магнитной памяти металла» (МПМ), при котором используется последствие, проявляющееся

в виде магнитной памяти металла к фактическим деформациям и структурным изменениям в металле трубы. Метод МПМ применяется в основном для контактного контроля сварных швов трубопроводов при изготовлении или в шурфах, а также для подтверждения мест дефектов, выявленных другими методами (ультразвуковой контроль (УК), визуально-измерительный контроль (ВИК), акустическая эмиссия (АЭ)).

На основе возможностей метода МПМ разработан специальный приборный комплекс для контроля состояния подземных металлических трубопроводов с использованием бесконтактной магнитометрической диагностики (БМД).

Метод БМД основан на измерении напряженности магнитного поля земли, обусловленного изменением собственного магнитного поля трубопровода, находящегося под землей, в зонах концентрации напряжений (ЗКН) и в зонах развивающихся коррозионно-усталостных повреждений. При этом характер изменений поля земли (частота, амплитуда) может быть обусловлен дефектами (повреждениями, аномалиями) на участках трубопровода, возникающими вследствие воздействия ряда негативных факторов. К таким факторам относятся: остаточные технологические и монтажные напряжения, рабочая нагрузка (перепад давлений транспортируемой воды и изменение ее качественных показателей), проявление напряжений самокомпенсации при колебаниях температуры наружного воздуха и окружающей среды (грунта, подземной воды вдоль трассы) и др. Процессами, предшествующими эксплуатационному износу, являются изменения свойств металла (коррозия, усталость) в зонах концентрации напряжений. Соответственно, изменяется намагниченность металла, отражающая фактическое напряженно-деформированное состояние трубопроводов. Анализ изменений магнитного поля позволяет выявлять места напряженно-деформированного состояния, неоднородности металла и др.

Обследование производится с помощью прибора-измерителя концентрации напряжений (ИКН) и специализированных датчиков без прямого доступа к поверхности металла (без шурфования, без снятия изоляции и без зачисток поверхности трубопроводов. На рисунке 1 показан измерительный комплекс для

бесконтактной магнитометрической диагностики трубопроводов, расположенных под слоем грунта, воды и др.



Рис. 1. Сканирующий приборный комплекс для БМД: 1 – дорожное колесо; 2 – узел счета длины; 3 – узел крепления датчика Тип 11; 4 – датчик Тип 11; 5 – ручка; 6 – узел крепления измерительного прибора; 7 – складная опорная стойка; 8 – универсальная головка

Приборы типа ИКН по принципу работы являются многоканальными феррозондовыми магнитометрами. Дефекты, вызванные перечисленными выше нагрузками на металл трубопровода, приводят к изменению собственного магнитного поля, что отражается на диаграмме, полученной прибором при сканировании вдоль трассы трубопровода. Причем, чем больше эти изменения, тем выше градиент вызванной аномалии в магнитном поле и чем резче аномалия, тем надежнее регистрируются подобные экстремальные участки с помощью измерительной аппаратуры.

Целью БМД является оперативное обследование трубопроводов с поверхности земли для определения наиболее напряженных участков, предрасположенных

к развитию повреждений. Участки трубопровода, где при дополнительном контроле в шурфах зафиксированы наиболее значительные повреждения, назначаются для выполнения ремонта.

При расшифровке информации о состоянии трубопроводов по изменениям магнитного поля, фиксируемого на расстоянии 200...300 мм от поверхности земли, используются критерии и программный продукт, разработанные в ООО «Энергодиагностика» [6, 7].

Технология регистрации информации осуществляется посредством применения специальных сканирующих устройств, регистрирующих изменения магнитного поля. При движении устройства по трассе трубопровода (не менее 2 км/час) на экране прибора отображается пройденное оператором расстояние от начальной до конечной точек контроля и определяются участки, работающие в наиболее напряженных условиях и predisposed к повреждениям. На этих участках делается шурфовка и дополнительный контроль с целью выявления конкретных дефектов.

Результаты исследований. Выявлен-

ные при контроле магнитные аномалии локализуются по номеру участка и соответствующих расстояний от начальной точки, фиксируются в протоколе и отмечаются по месту вешками с нанесением на схему (карту) трассировки. Локальные изменения магнитного поля в ЗКН могут вызываться не только дефектами трубопровода, но и рядом факторов, например, пересечениями обследуемого трубопровода с линиями электропередач (ЛЭП), другими трубопроводами, кабелями, дорогами и др. Необходимо отметить, что в протоколе фиксируются точки (зоны) отклонения характера магнитограмм, превышающие 20 % от фоновых значений. На таких участках рекомендуется проводить инженерные изыскания (например, осуществлять шурфование) для непосредственного контроля и подтверждения выявленных отклонений другими методами (МПИ, УК, ВИК).

Результатом обследования состояния трубопровода с помощью БМД является получение магнитограмм, отражающих напряженность собственного магнитного поля трубопровода и ее изменения, возникающие по причине различного рода аномалий (рис. 2).

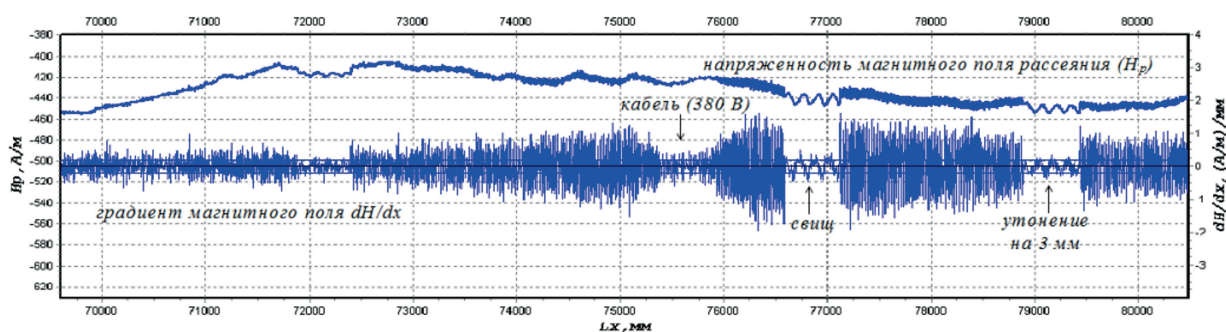


Рис. 2. Магнитограмма с аномалиями на трубопроводе диаметром 1020 мм в виде функций $dH/dx = f(Lx)$ и $H_p = f(Lx)$: по оси абсцисс: Lx – длина контролируемого участка трубопровода, на котором выявлены аномалии; по оси ординат (слева): dH/dx – градиент магнитного поля (А/м) (нижняя магнитограмма); по оси ординат (справа): H_p – напряженность магнитного поля рассеяния, (А/м)/мм (верхняя магнитограмма)

Характер изменения амплитуды и частоты полученной магнитограммы свидетельствует о наличии участков с заметным изменением напряженности магнитного поля H_p (верхняя магнитограмма) и его градиента dH/dx (нижняя магнитограмма). Три аномалии (слева направо) идентифицированы как возможное пересечение трубопровода с кабелем 380 В (крайняя левая аномальная область), на-

личие свищей (трещин) в трубопроводе (средняя) и утонения стенок (крайняя правая). Данные предположения были подтверждены после проведения инженерных изысканий, в частности шурфования участка трубопровода в трех точках. В месте, где предполагалось наличие свищей, обнаружена трещина протяженностью более 200 мм, а в точке, где предполагалось утонение толщины стенки трубопровода,

толщина его составила 1х1,5 мм вместо 10 мм по номиналу. На основании проведенных полевых исследований, принято решение о восстановлении участка трубопровода с обнаруженными повреждениями методом нанесения цементно-песчаного покрытия на внутреннюю поверхность трубы. Необходимо отметить, что при расшифровке магнитограмм наиболее сложной задачей служб диагностики трубопроводных сетей является классификация магнитных аномалий по видам повреждений. Обнаруженные дефекты требуют дополнительного исследования в целях их идентификации. Попытка провести классификацию магнитных аномалий с использованием только программного продукта без участия специалиста в настоящее время дает большую погрешность. При обучении специалистов по БМД даются рекомендации по отличительным признакам магнитных аномалий и диагностическим параметрам, позволяющим отличать зоны максимальной концентрации напряжений (до начала развития повреждения) от зоны развивающегося коррозионного повреждения. Имеющиеся критерии позволяют выявлять дефектные сварные стыки и отличать их от стыков, находящихся в удовлетворительном состоянии.

По результатам проведенного обследования с помощью БМД и последующей сверке другими методами составляется экспертная оценка о техническом состоянии и принимается решение о выводе объекта из эксплуатации, замене отдельных узлов или ремонте с назначением срока безопасной эксплуатации [8].

Для развития БМД трубопроводов необходимо изучить физические основы метода МПМ и новые, не изученные ранее, положения по механике и физике деформирования и разрушения [9].

Преимуществом метода БМД является определение и уточнение местоположения прогнозируемых дефектов с поверхности земли. Предварительного намагничивания и (или) подключения наружных генераторов, как правило, не требуется (кроме сложных условий поселковых или городских застроек). К преимуществам метода БМД относится также оперативность оценки состояния обследуемого трубопровода [10].

Выводы

Применение систем внутритрубной диагностики с помощью телеинспекции позволяет отслеживать реальное текущее

состояние трубопроводных сетей из различных материалов (сталь, чугун, хризотилцемент, железобетон, полимеры), находящихся в длительной эксплуатации и имеющих различного рода дефекты. В качестве обнаруженных дефектов могут фиксироваться трещины (круговые, продольные, поперечные), расхождения стыков, оголение арматуры, деформация тела трубы, коррозионные и другие типы обрастаний.

На базе проведенных полевых исследований с применением бесконтактной магнитометрической диагностики без вскрытия грунта фиксируется информация о фактическом напряженно-деформированном состоянии трубопровода, в частности, местах утонения стенки трубопровода, наличия свищей, внутреннее расслоение металла, что позволяет предложить метод реновации участков сети современными бестраншейными технологиями. К преимуществам метода БМД относится оперативность оценки состояния обследуемого трубопровода (не нужно делать предварительную шурфовку), также БМД может проводиться как при работе водоводов в режиме мониторинга, так и при его ремонте.

Библиографический список

1. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. Официальное издание Госстандарт СССР. ГОСТ 18353-79. — М.: Издательство стандартов, 1987 [Электронный ресурс]. — URL: http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_18353-79 (Дата обращения 19.11.2015).
2. Орлов В. А., Дежина И. С. Передовые технологии инспекции трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения // Промышленное и гражданское строительство. — 2014. — № 2. — С. 77—79.
3. Орлов В. А., Дежина И. С. Методы и аппаратура диагностики водопроводных и водоотводящих сетей водоотведения // Промышленное и гражданское строительство. — 2014. — № 1. — С. 78—80.
4. Орлов В. А., Мешкова Н. И. Ультразвуковая система Piglet. Внутренний осмотр и прочистка трубопроводов // Технологии Мира. — 2012. — № 5. — С. 43—44.
5. Инструкция по диагностике технического состояния трубопроводов бесконтактным магнитометрическим методом.

РД 102-008-2002. — М.: ВНИИСТ. — 2002. — 52 с.

6. Дубов А. А., Дубов А. А., Колокольников С. М. Метод магнитной памяти металла и приборы контроля: Учебное пособие. — М.: Издательский дом «Спектр», 2012. — 395 с.

7. Власов В. Т., Дубов А. А. Физические основы метода магнитной памяти металла. — М.: ЗАО «Тиссо», 2004. — 424 с.

8. Оценка ресурса потенциально опасных объектов на основе экспресс-методов. Общие требования. Официальное издание. ГОСТ Р 53006-2008. — М.: Стандартинформ. — 2009 [Электронный ресурс]. — URL: http://standart-gost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_%D0%A0_53006-2008 (Дата обращения 19.11.2015).

9. Власов В. Т., Дубов А. А. Физическая теория процесса «деформация-разрушение». Часть I. Физические критерии предельных состояний металла. — М.: ЗАО «Тиссо», 2007. — 517 с.

10. Дубов А. А., Дубов Ал. А. Опыт применения бесконтактной магнитоме-

трической диагностики трубопроводов и перспективы ее развития // Контроль. Диагностика. — 2014. — № 4. — С. 64–67.

Материал поступил в редакцию 19.11.2015.

Сведения об авторах

Чистякова Алла Валерьевна, магистрантка профиля «Водоснабжение и водоотведение» ФГБОУ ВО НИУ МГСУ; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, дом 26; тел. 8(499)183-36-29; e-mail: pochta_alla@mail.ru.

Орлов Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения ФГБОУ ВО НИУ МГСУ; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, дом 26; тел. 8(499)183-36-29; e-mail: orlov950@yandex.ru.

Чухин Валентин Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения ФГБОУ ВО НИУ МГСУ; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, дом 26; тел. 8(499)183-36-29; e-mail: sigma85@yandex.ru.

A. V. CHISTYAKOVA, V. A. ORLOV, V. A. CHUKHIN

The Federal state budget educational institution of higher education
«The National research Moscow state building university», Moscow

DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF METAL PIPELINES

There are considered assessment methods of the technical state of art of metal pipelines using intratubal and outer (ground) diagnosis. There are given classification and functions of television robots. There are presented methods of assessment of pipelines by means of using a contactless magnetometric diagnostic interpretation of the results of field tests. The aim of the investigation is conducting of experiments on a steel pipeline with the identification and registration of the magnetic field strength, finding of anomalies of different kinds (fistulas, cracks, corrosion, delamination) and their identification. There are used analytical and experimental research methods by means of the measuring device of stress concentrations and specialized sensors without direct access to the metal surface (no pitting, no stripping and no scrapping of the pipelines surface) to obtain magnetograms with anomalies on types of damage. When the device moving along the pipeline on the device screen there is displayed the passed by operator distance from the initial to the final control point and identified the areas working under the most intensified conditions and predisposed to damage. As a result of the conducted field tests there is detected a crack length of 200 mm, wall thinning up to 1.5 mm instead of 10 mm on the nominal value and availability of cable. According to the scan results there is obtained a magnetogram showing the actual stress-deformed state with extreme parts.

Diagnostics, pipeline, damage, intratubal and non-contact inspection, telerobots, magnetometric examination.

References

1. Control nerazrushayushchiy. Klas-sificatsiya vidov I metodov. Ofitsialnoye

izdaniye Gosstandart SSSR. GOST 10CT 18353-79. — М.: Izdatelstvo standartov, 1987 [Elektronny resurs]. — URL: <http://>

standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_18353-79. (Data obrashcheniya 19.11.2015).

2. Orlov V.A., Dezhina I.S. Peredovye tehnologii inspektzii truboprovodov system vodosnabzheniya I vodootvedeniya // Promyshlennoye I grazhdansloye stroiteljstvo. — 2014. — № 2. — S. 77–79.

3. Orlov V.A., Dezhina I.S. Metody I apparatura diagnostiki vodoprovodnyh I vodootvodyashchih setej vodootvedeniya // Promyshlennoye I grazhdansloye stroiteljstvo. — 2014. — № 1. — S. 78–80.

4. Orlov V.A., Meshkova N.I. Ultrazvukovaya sistema Piglet. Vnutrenniy osmotr I prochistka truboprovodov // Tehnologii mira. — 2012. — № 5. — P. 43–44.

5. Instruksiya po diagnostiketehnicheskogo sostoyaniya truboprovodov beskontaktnym magnitometricheskim metodom. RD 102-008-2002. — M.: VNIIST. — 2002. — 52 s.

6. Dubov A.A., Dubov A.A., Kolkolnikov S.M. Metod magnitnoy pamyati metalla I probory kontrolya: Uchebnoye posobiye. — M.: Izdateljsky dom «Spectr», 2012. — 395 s.

7. Vlasov V.T., Dubov A.A. Fizicheskiye osnovy metoda magnitnoj pamyati metalla. — M.: ZAO «Tisso», 2004. — 424 s.

8. Otsenka recyrsa potentsialjno opasnyh objektov na osnove express-metodov. Obshchiye trebovaniya. Ofitsialnoye izdaniye. GOST P 53006-2008. — M.: Standartinform. — 2009 [Elektronnyy resurs]. — URL: http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_%D0%A0_53006-2008 (Data obrashcheniya 19.11.2015).

D0%A2_%D0%A0_53006-2008 (Data obrashcheniya 19.11.2015).

9. Vlasov V.T., Dubov A.A. Fizicheskaya teoriya protsessa “daformatsiya-razruzheniye”. Chastj I. Fizicheskiye criteria predelnyh sostoyanij metalla. — M.: ZAO «Tisso», 2007. — 517 s.

10. Dubov A.A., Dubov A.A. Opyt primeneniya bescontactnoy magnitometricheskoj diagnostiki truboprovodov I perspektivy yeye razvitiya // Control. Diagnostika. — 2014. — №4. — S. 64–67.

Received on 19.11.2015.

Information about the authors

Chistyakova Alla Valerjevna, post graduate student of the profile «Water supply and drainage» FSBEI HENIU MGSU; 129337, Moscow, Yaroslavskoye shchosse, 26; tel. 8(499)183-36-29; e-mail: pochta_alla@mail.ru.

Orlov Vladimir Alexandrovich, doctor of technical sciences, head of the chair of water supply FSBEI HENIU MGSU; 129337, Moscow, Yaroslavskoye shchosse, 26; tel. 8(499)183-36-29; e-mail: orlov950@yandex.ru.

Chukhin Valentin Alexandrovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of water supply FSBEI HENIU MGSU; 129337, Moscow, Yaroslavskoye shchosse, 26; tel. 8(499)183-36-29; e-mail: sigma85@yandex.ru.

УДК 502/504:633.18(470.4)

В. В. БОРОДЫЧЁВ

Волгоградский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», г. Волгоград

Э. Б. ДЕДОВА

Калмыцкий филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», г. Элиста

Ю. И. СУХАРЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

РЕСУРСНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РИСОВЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ САРПИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

В статье приведены результаты многолетних исследований по конструированию рисовых агроландшафтов с включением в севооборот культур-мелиорантов, способных повышать биоэнергопроизводительность агроэкосистемы и обеспечивать положительный баланс гумуса и плодородия почвы продуктивностью агроландшафтов при минимальных энергетических затратах. Представленная оценка режима функционирования рисовых мелиоративных систем Республики Калмыкия показывает, что по таким критериям негативных процессов, как вторичное засоление и осолонцевание почв величина геоэкологического риска недопустимая и находится в пределах 0,42 и 0,69 соответственно. Выполнена оценка экологической эффективности ресурсосберегающих технологий возделывания суходольных культур, способных формировать высокие урожаи без полива с использованием остаточных после риса запасов влаги. Для обеспечения экологически безопасного и высокоэффективного функционирования рисовых мелиоративных систем республики необходимо достаточное водообеспечение возделываемых на них сельскохозяйственных культур, включая основную культуру – рис. Так как рис является мелиорирующей культурой, возделывание его способствует снижению степени засоления почвы и повышению их плодородия; на следующий год, после возделывания риса запасы остаточной влаги составляют более 300 мм, что дает возможность без полива получать дополнительную сельскохозяйственную продукцию (зерно, сено, маслосемена). Это позволяет более эффективно использовать мелиорируемые земли и оросительную воду, ускоряет окультуривание периодически затопляемых почв рисовых полей, увеличивает выход растениеводческой продукции.

Сельскохозяйственные культуры, рисовый севооборот, продуктивность, почва, геоэкологический риск, вторичное засоление, осолонцевание, агроландшафт.

Введение. На современном этапе развития рисоводческой отрасли страны главной задачей является формирование высокопродуктивных и экономически эффективных агроценозов и экологически безопасных технологий их возделывания. Анализ теоретических разработок, а также итогов обобщения отечественного и зарубежного опыта показывает, что на рисовых оросительных системах в результате больших поливных норм при

неудовлетворительном состоянии дренажной системы наблюдаются развитие неблагоприятного анаэробного режима, подъема грунтовых вод и смена природных автоморфных условий почвообразования гидроморфными [1, 2]. Широко распространяются процессы обеднения почв углекислым и обменным кальцием, потери органического вещества, уплотнения, образования глыбистой структуры. Плотность сложения может возрастать

до $1,5 \text{ г/см}^3$ и более, нередко развиваются процессы слитизации почв.

Одним из приемов улучшения экологически безопасного и высокоэффективного функционирования рисовых мелиоративных агроландшафтов Сарпинской низменности является внедрение ресурсосберегающих технологий возделывания суходольных культур, способных формировать высокие урожаи без полива с использованием остаточных после риса запасов влаги ($280\ldots 300 \text{ мм}$) [3–6]. В этой связи, нами проведена оценка режима функционирования рисовых мелиоративных систем Сарпинской низменности.

Материал и методы. Сарпинская низменность расположена в пределах Прикаспийского региона на юге европейской части Российской Федерации. Рисовые севообороты расположены в зоне деятельности Сарпинской обводнительно-оросительной (СООС) и Калмыцко-Астраханской рисовой оросительной (КАРОС) систем на солонцеватых светло-каштановых и бурых полупустынных почвах в комплексе с солонцами, характеризующимися следующими агрофизическими и агрохимическими свойствами: плотность пахотного слоя $1,37 \text{ г/см}^3$ (в метровом $1,55 \text{ г/см}^3$); по гранулометрическому составу почвы относятся к иловатым крупно-пылеватым тяжелым суглинкам и глинам, так как в них преобладают фракции пыли и ила (частицы диаметром $0,05\ldots 0,01$ и менее $0,01 \text{ мм}$); содержание гумуса в слое $0\ldots 20 \text{ см}$ – $1,1\ldots 1,4 \%$, в слое $20\ldots 40 \text{ см}$ – $0,75\ldots 1,03 \%$; содержание подвижного фосфора и обменного калия среднее; засоление пахотного слоя среднее, химизм варьирует по профилю от хлоридно-сульфатного до сульфатно-хлоридного. Грунтовые воды находятся на глубине $1,8\ldots 2,2 \text{ м}$. Минерализация их $2,9\ldots 3,4 \text{ г/л}$.

Почвенно-мелиоративные и инженерно-гидрогеологические условия (особенно на СООС) сложные и тяжёлые. Эти системы проектировались и эксплуатируются в основном как рисовые. Подача воды из р. Волга осуществляется за счет водозабора в Волгоградской и Астраханской областях, что связано со значительными затратами на электроэнергию для подачи воды. Основным источником воды для полива является река Волга (минерализация воды $0,2\ldots 0,6 \text{ г/л}$). Поскольку все каналы, по которым подается вода, проходят в земляном русле по тер-

ритории с высоким содержанием водорастворимых солей в почвенном профиле, то волжская вода по мере ее транспортировки ухудшается по всем показателям и, прежде всего, по химизму и минерализации. Из сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевого она переходит в хлоридно-сульфатно-натриево-кальциевый тип, так как содержание хлора уже во внутрихозяйственных оросителях приближается к 15% от общей суммы ионов. Во внутрихозяйственных оросителях и чеках минерализация воды возрастает до $0,7\ldots 1,0 \text{ г/л}$ и уже соответствует II классу качества.

Мелиоративный фонд в зоне деятельности СООС и КАРОС составляет 43700 га , в том числе регулярного орошения – 19761 га , инициативного – 4764 га и лиманного – 19175 га . Обеспеченность дренажем меньше 15% . До 30% земель на этих системах уже первоначально обладали плохим мелиоративным состоянием из-за высокой доли солонцов и природного засоления корнеобитаемого слоя. Анализ современной экологической обстановки на рисовых оросительных системах степной части Сарпинской низменности показывает, что из общей площади орошаемых земель (8031 га) – 43% (3459 га) находится в удовлетворительном мелиоративном состоянии, а 57% (4572 га) – в неудовлетворительном по причинам вторичного засоления и осолонцевания.

По природному районированию эта территория располагается в полупустынной зоне Республики Калмыкия [7]. Основной особенностью климата полупустынной зоны является его резкая континентальность – лето жаркое и очень сухое, зима малоснежная, иногда с большими морозами. Континентальность возрастает с запада на восток (табл. 1).

Для улучшения мелиоративного состояния и повышения плодородия рисовых полей изучалось влияние растений-фитомелиорантов (люцерна посевная, горчица сарептская, яровой рапс, подсолнечник) на плодородие почв рисовых полей. В исследованиях учитывалось взаимодействие естественных и антропогенных факторов, влияющих на экологическое состояние, определялась реакция растений-фитомелиорантов на изучаемые агротехнические приемы и их сочетания, повышающие продуктивность агроценозов и снижающие негативные последствия функционирования рисовых мелиоративных систем Республики Калмыкия.

Таблица 1

Характеристика природно-климатических условий Сарпинской низменности

Показатели	Полупустынная зона
Площадь, млн. га	1,73
Средняя температура, °С :	
наиболее холодного месяца	–8...–9
наиболее теплого месяца	24,7...25,5
Сумма $t > 10^{\circ}\text{C}$	3329...3523
Безморозный период, дни	143...190
Осадки P , мм/год	243...278
Количество дней с засухами, дни	100...119
Осадки за период IV–IX, мм	147...174
Испаряемость (E_0), мм/год	1100...1180
Годовой коэффициент увлажнения ($K_y = P/E_0$)	0,22...0,26
Степень аридности	сильно аридные
Коэффициент аридности (увлажнения)	0,16...0,30

В основу научных исследований положены классические учения о почве, почвообразовательных процессах, почвенном плодородии, процессах засоления В. В. Докучаева, В. И. Вернадского, В. Р. Вильямса, А. Н. Костякова, В. А. Ковды, Б. Г. Розанова. Экологическое состояние орошаемых почв проводили по методикам, разработанным во ВНИИГиМе и ВолжНИИГиМе. Для характеристики классов экологического состояния орошаемых земель использовали определения, данные в работах Н. Ф. Глазовского, Н. И. Коронкевича, Н. И. Парфеновой, Н. М. Решеткиной, Л. В. Кирейчевой, С. Д. Исаевой. При выполнении экологической оценки режима функционирования рисовых мелиоративных систем Сарпинской низменности были использованы Фондовые материалы почвенно-аналитической лаборатории за 1983–2014 гг. Калмыцкого филиала ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова, материалы мелиоративных кадастров по Республике Калмыкия. Обработка результатов экспериментов проводилась методами корреляционного, регрессионного, дисперсионного анализов по методике Б. А. Доспехова, с помощью программы STATISTICA 6.0 и процессора электронных таблиц Microsoft Excel XP.

Результаты и обсуждение. Экологически безопасное функционирование агроландшафтов, в том числе и рисовых мелиоративных, обеспечивается сбалансированным воздействием природных и антропогенных факторов на систему «климат – почва – вода – животный мир – растение». Однако в

условиях Калмыкии, при сочетании сложной почвенно-мелиоративной обстановки с орошением грузными нормами в отсутствии хорошо функционирующей дренажной системы происходит быстрый подъем уровня грунтовых вод и начало процессов вторичного засоления. На возможность интенсивного вторичного засоления в Прикаспийской низменности в отсутствии дренажа указывал в свое время В. А. Ковда.

Многолетнее возделывание риса в сложных почвенно-климатических условиях Сарпинской низменности без применения комплекса мелиоративных мероприятий по восстановлению и улучшению экологической обстановки привело к массовому развитию деградиционных почвенных процессов и резкому снижению показателей плодородия. Активизировались процессы заболачивания, засоления и осолонцевания почв из-за ухудшения технического состояния оросительной и коллекторно-сбросной сети.

Нами проведена оценка режима функционирования рисовых мелиоративных систем Республики Калмыкия по величине приемлемого геоэкологического риска развития основных негативных последствий (от 5 до 15%). Масштаб геоэкологического риска P_0^m оценивается как процентное отношение площади ΔS , пораженной негативными процессами, к общей площади мелиоративной системы и прилегающих земель S по следующей зависимости (табл. 2):

$$P_0^m = \frac{\Delta S}{S} 100 \text{ \%}.$$

Таблица 2

Оценка режима функционирования рисовой мелиоративной системы

Основные негативные природно-мелиоративные процессы	Величина приемлемого геоэкологического риска	Режим функционирования мелиоративной системы
Подтопление территории	0,10	0,24 (экологически допустимый)
Вторичное засоление почв	0,05	0,42 (экологически недопустимый)
Осолонцевание почв	0,15	0,69 (экологически недопустимый)
Потеря гумуса в почвах	0,05	0,13 (экологически допустимый)

Геоэкологический риск характеризуется следующими нормативными уровнями: пренебрежимый геоэкологический риск – это минимальный уровень приемлемого риска, который находится на уровне флуктуаций уровня формирования риска или определяется как 1 % от предельно допустимого геоэкологического риска; приемлемый геоэкологический риск – это риск, уровень которого оправдан с точки зрения экологических, экономических, социальных и других проблем; предельно-допустимый геоэкологический риск – максимальный уровень приемлемого риска, который определяется по всей совокупности негативных процессов и не должен превышать.

Анализ оценки режима функционирования Сарпинской рисовой мелиоративной системы Калмыкии показывает, что по таким критериям негативных процессов, как вторичное засоление и осолонцевание почв величина геоэкологического риска недопустимая и находится в пределах 0,42 и 0,69 соответственно.

Мелиоративная обстановка на СООС определяется и подтоплением территории за счет поднятия уровня грунтовых вод до 1,25...2,2 м, этот критерий характеризуется как экологически допустимый (0,24). В рисовых агроландшафтах происходит уменьшение мощности гумусовых горизонтов, снижение запасов гумуса, что связано с недостаточным поступлением растительных остатков в почву. Так, потеря гумуса в рисовых почвах по величине геоэкологического риска составляет 0,13.

Таким образом, антропогенный прессинг проявляется в изменении и ухудшении компонентов агроландшафта, в частности, свойств почв. Наряду с отмеченными негативными природно-мелиоративными процессами, проявляются и другие деградиционные процессы, такие как повышение минерализации грунтовых вод, декарбонизация почв и другие. Все это отрицательно сказывается на росте и развитии культурной и естественной растительности, снижении ее биологической продуктивности.

По материалам мелиоративного кадастра оросительных систем (Калмыцкая гидромелиоративная партия) более 3,0 тыс. га рисовых чеков, находящихся на землях лиманной части, по причине неудовлетворительной экологической ситуации было выведено из сельскохо-

зяйственного оборота. Поддержание мелиоративной обстановки на экологически допустимом уровне требует проведения комплекса мероприятий с применением средств и методов химической и биологической мелиорации, чего к сожалению до сих пор в полной мере не осуществляется.

При конструировании рисовых агроландшафтов с целью снижения геоэкологического риска в рисовый севооборот включали культуры-мелиоранты, которые повышают биоэнергопроизводительность агроэкосистемы и обеспечивают положительный баланс гумуса, рост плодородия почв и продуктивность агроландшафтов при минимальных энергетических затратах (рис. 1). Так, при включении в рисовый севооборот суходольных культур повышается выход продукции с наименьшими затратами, что повышает биоэнергетический коэффициент на 0,46...0,93.

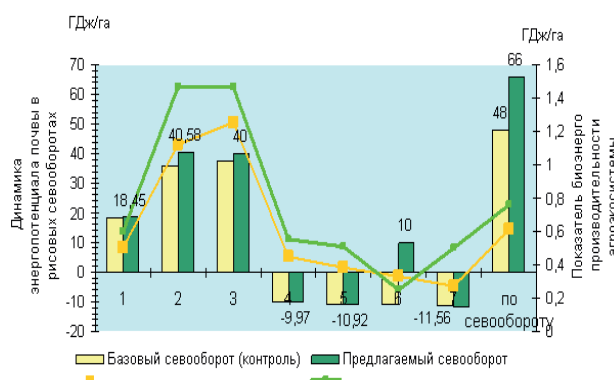


Рис. 1. Повышение энергетического потенциала деградированных рисовых агроландшафтов: базовый севооборот (контроль): 1 – люцерна 1 г.ж. + яровой ячмень; 2 – люцерна 2 г.ж.; 3 – люцерна 3 г.ж.; 4 – рис; 5 – рис; 6 – рис; 7 – рис; предлагаемый севооборот: 1 – люцерна 1 г.ж. + яровой ячмень; 2 – люцерна при затоплении 2 г.ж.; 3 – люцерна при затоплении 3 г.ж.; 4 – рис; 5 – горчица, рапс; 6 – рис; 7 – рис

Были разработаны, усовершенствованы и оптимизированы технологии возделывания сопутствующих культур на остаточных после риса запасах влаги (до 320 мм). Для формирования продуктивности семян горчицы сарептской на уровне 1,5...2,02 т/га рекомендуется одновременно с посевом (нормой 2,5 млн. шт/га) вносить минеральные удобрения $N_{70...100}P_{40...60}$ кг/га д. в.; для получения планируемой урожайности зе-

ленной массы 25...35 т/га и семян ярового рапса 2,0...2,5 т/га, одновременно с посевом необходимо вносить азотные удобрения в дозах $N_{90...120}$ кг/га действующего вещества; агроценоз подсолнечника формируют с густотой стояния растений 35...40 тыс. на 1 га, расстояние между растениями в рядах 20...25 см, ширина междурядий 45 см, доза минеральных удобрений – $N_{110}P_{45}$.

На рисовых системах Калмыкии люцерна посевная занимает 25...30 % от севооборотной площади и является лучшим предшественником риса. Биологические особенности этой культуры делают ее незаменимой в рисовом севообороте в хозяйственном, агротехническом и мелиорирующем отношениях, особенно на засоленных землях. Наибольший урожай риса получают по пласту люцерны 7...8 т/га, по обороту этого пласта получают до 6,0 т/га. При соблюдении агротехнических приемов за сезон можно получать 4...5 укосов люцерны, общей урожайностью 8...12 т/га сена. Для получения хорошего травостоя люцерны рекомендуется высевать 110...130 кг/га ярового ячменя и 18...20 кг/га семян люцерны. Перед посевом семена люцерны обрабатывают ризоторфином из расчета 200 г на гектарную норму посева. Посев проводится зернотравяной сеялкой СЗТ-3,6 с одновременным внесением фосфора в дозе P_{15} . Под основную обработку почвы рекомендуемая доза внесения фосфора – 90...120 кг/га д. в. в запас на два года. После укоса необходимо применять подкормки и аэрацию почвы при помощи рыхлителей в агрегате с зубowymi боролами. Доза внесения азотных удобрений после каждого укоса составляет $N_{25...30}$. Мероприятия по уходу за агроценозами люцерны второго и третьего годов жизни включает ранневесеннее боронование и осеннее щелевание посевов на глубину 40...45 см.

Экологический эффект от выращивания культур-мелиорантов в рисовых севооборотах мелиоративного поля заключается в следующем:

почвы рисовых полей лучше просушиваются, что является результатом интенсивного потребления и транспирации воды растениями;

улучшается аэрация почвы и ускоряется наступление ее физической спелости весной, так общая пористость увеличивается по сравнению со звеном севооборота

рис – рис на 5...7%;

плотность сложения в звене севооборота «рис – культуры-мелиоранты» уменьшается на 7,52...10,3 %, количество наиболее агрономически ценных агрегатов почвы (0,25...10 мм) возрастает на 9,95...16,04 %, а коэффициент структурности увеличивается с 0,9 до 1,7...1,9.

обеспечивается снижение геоэкологического риска подтопления территории на 35 %;

запахивание растительных остатков рапса и горчицы (более 4,0 т/га) в поверхностный слой почв рисовых полей позволяет увеличить содержание гумуса на 15...18 %, что способствует усилению биологической активности почвы и повышению доступности растениям риса основных элементов питания. При этом также достигается благоприятное направление основных процессов в почве: до посева риса доминируют окислительные, а в период вегетации (после заделки растительной массы) – восстановительные, что увеличивает подвижность фосфора и калия, которые наряду с азотом являются основными элементами питания растений риса; общее количество свежего органического вещества с корневыми и поукосными остатками люцерны за три года исследований поступает 14,6...14,8 т/га, при этом содержание гумуса в бурой полупустынной почве рисового севооборота возрастает в горизонте (0...30 см) с 1,19 до 1,48...1,49 %, а в слое 0...20 см с 1,24 до 1,52...1,54 %;

при размещении посевов культур-мелиорантов в мелиоративном поле по остаточной влаге создаются более благоприятные агрогидрологические условия и солевой режим почв (снижается уровень грунтовых вод на 0,4...0,6 м, а также их минерализация на 5...12 %, практически не происходит реставрации засоления);

улучшается фитосанитарная обстановка на рисовых полях, так как при запашке растительных остатков ярового рапса и горчицы сарептской в почвенный раствор переходят физиологически активные соединения, обладающие высокой аллелопатической способностью и оказывающие угнетающее воздействие на сорняки;

повышается урожай зерна риса на 0,39...1,13 т/га при возделывании после предшественников – культур-мелиорантов.

Выводы

Для обеспечения экологически безопасного и высокоэффективного функционирования рисовых мелиоративных систем республики необходимо достаточное водообеспечение возделываемых на них сельскохозяйственных культур, включая основную культуру – рис. Так как рис является мелиорирующей культурой, возделывание его способствует снижению степени засоления почвы и повышению их плодородия; на следующий год, после возделывания риса запасы остаточной влаги составляют более 300 мм, что дает возможность без полива получать дополнительную сельскохозяйственную продукцию (зерно, сено, маслосемена). Это позволяет более эффективно использовать мелиорируемые земли и оросительную воду, ускоряет окультуривание периодически затопляемых почв рисовых полей, увеличивает выход растениеводческой продукции.

Библиографический список

1. Дедова Э. Б., Бородычев В. В., Шуравили А. В. Хозяйственно-мелиоративная оценка оросительных систем Республики Калмыкия // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 4. – С. 11–13.
2. Бородычев В. В., Левина А. В., Дедова Э. Б., Очирова Е. Н. Эколого-энергетическая эффективность рисовых агроландшафтов Сарпинской низменности // Плодородие. – 2011. – № 2. – С. 21–23.
3. Дедова Э. Б., Адьяев С. Б. Мелиорирующая роль сопутствующих культур рисовых севооборотов Калмыкии // Плодородие. – № 4 (37). – 2007. – С. 44–45.
4. Бородычев В. В., Лытов М. Н., Репенко Т. В., Кравченко А. В. Новые сопутствующие культуры в рисовых севооборотах // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. –

№ 3. – С. 19–21.

5. Дедова Э. Б., Сазанов М. А., Кониева Г. Н., Адьяев С. Б. Сопутствующие культуры в рисовых севооборотах Калмыкии // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии системы сельскохозяйственного производства»: сб. науч. тр. – Вып. 7. – Ч. I. – Рязань. – 2003. – С. 96–98.

6. Сухарев Ю. И., Бородычев В. В., Дедова Э. Б., Сангаджиева С. А. Подбор фитомелиорантов для восстановления деградированных пастбищ // Природообустройство. – 2011. – № 5. – С. 25–31.

7. Агроклиматические ресурсы Калмыцкой АССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 172 с.

Материал поступил в редакцию 20.10.2015.

Сведения об авторах

Бородычев Виктор Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор Волгоградского филиала ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова; 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9, офис 36; тел. 8-844-241-15-05; e-mail: vsovniigim@yandex.ru.

Дедова Эльвира Батыревна, доктор сельскохозяйственных наук, директор Калмыцкого филиала ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова; 358011, Республика Калмыкия, г. Элиста, площадь Городовикова, 1; тел. 8-847-22-383-47; e-mail: kf_vniigim@mail.ru.

Сухарев Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры мелиорации и рекультивации земель РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; тел. 8-499-976-47-73; e-mail: vodoem@mail.ru.

V. V. BORODYCHEV

The Volgograd branch of the Federal state budget scientific institution

«The All-Russian research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A. N. Kostyakov», Volgograd

E. B. DEDOVA

The Kalmyk branch of the Federal state budget scientific institution

«The All-Russian research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A. N. Kostyakov», Elista

Yu. I. SUKHAREV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

RESOURCE-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF RICE AGRO LANDSCAPES OF SARPINSKAYA LOWLAND

In the article there are given results of long-term researches on construction of rice agro landscapes including cultures - ameliorants into crop rotation capable to increase

bioenergy production of agro ecosystems and provide a positive humus balance, growth of soils fertility and productivity of landscapes at minimal power inputs. The given assessment of the functioning regime of rice reclamation systems of the Republic of Kalmykia shows that according to such criteria of negative processes as second salinization and alkalization of soils the value of geoecological risk is inadmissible and is in the range of 0.42 and 0.69 correspondingly. There is fulfilled an assessment of the ecological efficiency of cultivation technologies of upland crops capable to form high yields without irrigation using remaining stores of moisture after rice. For ensuring environmentally safe and highly effective functioning of rice reclamation systems of the Republic there is required a sufficient water provision of the cultivated agricultural crops including the main culture – rice. As rice is a meliorated crop, its cultivation forwards decreasing the degree of soil salinization and its higher fertility; the next year, after rice cultivation the stores of remaining moisture make more than 300 mm which allow obtain an additional agricultural produce (grain, hay, oil seeds) without irrigation. It makes it possible to more effectively use reclaimed lands and irrigation water, accelerates improvement of periodically flooded soils of rice fields, increases the yield of plant growing produce.

Agricultural crops, rice rotation, productivity, soil, geoecological risk, second, salinization, alkalization, agro landscape.

References

1. Dedova E. B., Borodychev V. V., Shuravilin A. B. Hozyaistvenno-meliorativnaya otsenka orositel'nykh system Respubliki Kalmykiya // Melioratsiya I vodnoye hozyaistvo. – 2011. – № 4. – S. 11–13.
2. Borodychev V. V., Levina A. V., Dedova E. B., Ochirova E. N. Ecologo-energeticheskaya effektivnost' risovykh agrolandshaftov Sarpinskoj nizmennosti // Plodorodiye. – 2011. – № 2. – S. 21–23.
3. Dedova E. B., Adjyaev S. B. Melioriruyushchaya rol' soputstvuyushchih kultur risovykh sevooborotov Kalmykii // Plodorodiye. – № 4 (37). – 2007. – S. 44–45.
4. Borodychev V. V., Lytov M. N., Repenko T. V., Kravchenko A. V. Novye soputstvuyushchie kultury v risovykh sevooborotah // Melioratsiya I vodnoye hozyaistvo. – 2007. – № 3. – S. 19–21.
5. Dedova E. B., Sazanov M. A., Konieva G. N., Adjyaev S. B. Soputstvuyushchie kultury v risovykh sevooborotah Kalmykii // Sovremennye energo-resursosberegayushchie ekologicheskiye ustoychivye tehnologii sistemy sel'skohozyaistvennogo proizvodstva: sb. Nauch. Tr.. Vyp. 7. – Ch. I. – Ryazan. – 2003. – S. 96–98.
6. Sukharev Yu. I., Borodychev V. V., Dedova E. B., Sangadjieva S. A. Podbor

fitomeliorantov dlya vosstanovleniya degradirovannykh pastbishch // Prirodouboostroystvo. – 2011. – № 5. – S. 25–31.

7. Agroclimaticheskie resursy Kalmytskoj ASSR. – L.: Hydrometeoizdat, 1974. – 172 s.

Received on 20.10.2015.

Information about the authors

Borodychev Victor Vladimirovich, doctor of agricultural sciences, professor, corresponding member of RAS, director of the Volgograd branch of VNIIGiM named after A.N. Kostyakov; 400002, Volgograd, ul. Timiryazeva, 9, office 36; tel.: 8-844-241-15-05; e-mail: vcovniigim@yandex.ru.

Dedova Elvira Batyrevna, doctor of agricultural sciences, director of the Kalmyk branch of VNIIGiM named after A.N. Kostyakov; 358011, Republic of Kalmykia, Elista, Gorodovikova square, 1; tel.: 8-847-22-383-47; e-mail: kf_vniigim@mail.ru.

Sukharev Yuriy Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of lands reclamation and recultivation RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, Timiryazevskaya ul., 49; tel. 8-499-976-47-73; e-mail: vodoem@mail.ru.

С. В. БРЫЛЬ

Коломенский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», г. Коломна

М. С. ЗВЕРЬКОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

ВЕРТИКАЛЬНОЕ ЭФФЕКТИВНОЕ ДАВЛЕНИЕ УДАРА КАПЛИ О ПОЧВУ

В статье рассматривается вопрос расчета давления капли о почву. Отмечается, что определение давления в результате удара капель дождя необходимо для лучшего понимания механизма разбрызгивания почвы при капельной эрозии. Приводятся зависимости для расчета давлений, возникающих при ударе капли о почву в твердой и жидкой фазах. Используется методика определения вертикального эффективного давления, описанная в работе М. А. Nearing (1995). Для определения времени и параметров удара капли применяется специально разработанное и запатентованное устройство. Получены значения вертикального эффективного давления для капли диаметром 1,73 мм, которые находятся в пределе 193,54...285,36 кПа, для капли 2,73 мм – 197,16...295,80 кПа. Давление, соответствующее гидравлическому удару, для капли диаметром 1,73 мм должны были составить 6505,84...10326,90 кПа, для капли 2,73 мм – 6521,40 кПа...10336,70 кПа. С помощью запатентованного устройства для акустического исследования установлено время t удара капли о почву. Оно составило $7,8...8 \cdot 10^{-5}$ с. Удар длится сотые доли секунды, но из-за малой площади контакта капля оказывает большее давление на почву. Числа Вебера We для капли диаметром 1,73 мм находятся в пределе 459...1156, для капли 2,73 мм – 728...1829. Выполняется условие $We \gg 1$, то есть деформация капли при ударе максимальная, в результате чего происходит ее разрушение, которое заканчивается процессом разбрызгивания.

Капельная эрозия, капля, удар капли, вертикальное эффективное давление, разбрызгивание почвы.

Введение. Определение давления в результате удара капель дождя необходимо для лучшего понимания механизма разбрызгивания почвы при капельной эрозии. Результаты экспериментов, полученные разными авторами, изменяются в широком диапазоне, так как исследователи применяют непохожие методики для описания этого процесса. При ударе капли о почву возникают две ударные волны – в твердой и жидкой фазах, что детально описано в работе М. А. Nearing ([1], 1995).

Процесс свободного падения в газовой среде капли массой m с начальной скоростью v_0 и высоты h от твердой поверхности показан на рисунке 1 [2]. На высоте h капля обладает кинетической $E_{k,0}$ и потенциальной энергией E_p :

$$E_{k,0} + E_p = \text{const.} \quad (1)$$

В момент удара о твердую поверхность происходит «дробление» и разбрызгивание капли, то есть происходит уменьшение площади поверхности S и совершается работа по перемещению жидкости (рис. 1, в). Потенциальная энергия капли переходит в

энергию поверхностного натяжения E_{st} :

$$E_k + E_{st} = \text{const}, \quad (2)$$

где E_k – кинетическая энергия капли в момент удара, Дж.

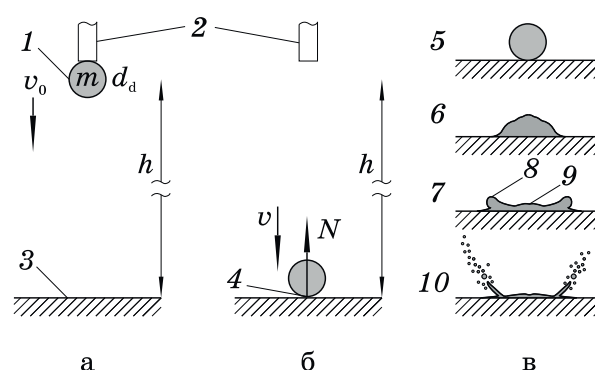


Рис. 1. Схема падения (а), удара (б) и разбрызгивания (в) капли [2]: 1 – капля; 2 – иньектор; 3 – контактная поверхность; 4 – передняя кромка капли; 5 – момент удара; 6 – процесс распространения в капле ударной волны; 7 – растекание капли; 8 – деформация свободной поверхности; 9 – образование ламеллы; 10 – образование «коронки» и разрушение капли; N – сила удара капли о поверхность

Как отмечает М. А. Nearing [1], для понимания механики процесса разбрызгивания и деформации почвы при капельной эрозии важно знать вертикальное эффективное давление p_e , которое можно определить по зависимости:

$$p_e = p_f - p_p, \quad (3)$$

где p_f – полное давление, оказываемое каплей на почвенный скелет (в твердой фазе); p_p – полное давление в поровой влаге (в жидкой фазе).

Известен ряд решений [1, 5–7], [18] определения давления удара капли о твердые поверхности с помощью зависимости для гидравлического удара:

$$p = \rho c v, \quad (4)$$

где c – скорость звука в воде, $c = 1,5 \cdot 10^3$ м/с; ρ – плотность жидкости, кг/м³; v – скорость капли в момент удара, м/с.

Формула (4) дает приближенное значение величины p . Строгое гидромеханическое решение этой задачи учитывает кумулятивный эффект волн давления, возникающих в капле в начальной фазе удара о твердую поверхность. Оно представлено в дифференциальном виде и требует применения численных методов расчета [3]. В момент удара о поверхность, в том числе о поверхность почвы, капля ведет себя как твердое тело. Однако, как подтверждают многочисленные исследования зарубежных ученых, продолжительность действия давления на почву в этот момент настолько короткое, что оно не влияет на эрозию [4]. В ранних исследованиях этого процесса показано сходство с эффектом гидравлического удара воздействия капель на твердые поверхности [5], [6], [7], [18].

Во второй фазе удара давление в капле резко падает, и она растекается по поверхности. Причем распределение давлений симметрично относительно точки удара [8, 9]. В экспериментах американских ученых установлено, что максимальное давление на почву приходится на некотором расстоянии от точки удара. Похожие результаты имели место в исследованиях с твердыми поверхностями, однако давление на почву было намного меньше [1, 8, 10]. Так максимальное давление удара о почву в эксперименте М. А. Nearing от падения 5,6 мм капли с высоты 14 м на некотором расстоянии (сопоставимым с размерами капли) от точки удара составило порядка 400 кПа, а в соответствии с приведенными им графическими данными вблизи удара давление

в этих условиях составило 100 кПа [1, 11].

При ударе капли о твердую поверхность от границы контакта (в зоне которой капля возникает лобовое давление) в противоположном направлении начинается распространяться ударная волна, вызывающая колебания внутри жидкости. Отношение лобового давления жидкости к давлению внутри капли (обусловленного поверхностным натяжением) описывается числом Вебера:

$$We = \frac{\rho v^2 d_d}{\sigma}, \quad (5)$$

где v – скорость капли, м/с; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м.

Дальнейшее распространение ударной волны вызывает деформацию свободной поверхности и образуется тонкая ламелла (рис. 1, стадии 7–8–9). Сжатие капли становится максимальным, происходит разрушение капли с образованием «коронки». Максимальная деформация капли возможна при $We \gg 1$.

Цель исследования заключалась в том, чтобы изучить возможность вычисления эффективного давления капли на почву по параметрам, определяемым с помощью запатентованного устройства [12, 13] и сравнить полученные результаты с описанной М. А. Nearing методикой в [1]. Акустический способ определения времени удара t и силы удара N капли диаметром d_d с помощью устройства [12] описан в работе [2].

Материал и методы. Исследования проводили на установке, показанной на рисунке 2 [14]. В данной работе приняты следующие допущения. Как и в исследованиях других авторов, удар и перемещение капли регистрировались по передней кромке 4 в направлении ее движения. Эта особенность отмечается в [2] и может давать отличие результатов аппроксимации по данным, полученным при изучении перемещения капли относительно центра массы. Контактная поверхность 3 должна быть гидрофильной и скорости падения – намного меньше скоростей звука в жидкости, в противном случае в момент удара произойдет «отскок» капли. Для образования капель использовали иглы (инъекторы) с внутренним диаметром 0,060 (34G) и 0,603 (20G) мм; были получены капли диаметром 1,73 и 2,73 мм соответственно. Капли падали

с высоты h 1,0, 1,5, 2,0 и 2,5 м. Рабочая жидкость – дистиллированная вода ГОСТ 6709–72), температура 20 °С, коэффициент поверхностного натяжения $\sigma = 0,07286$ Н/м, плотность 998,203 кг/м³. Температура лабораторного помещения 21 °С, относительная влажность воздуха 53 %. Для упрощения расчетов принято, что капля имеет форму шара с диаметром d_d .

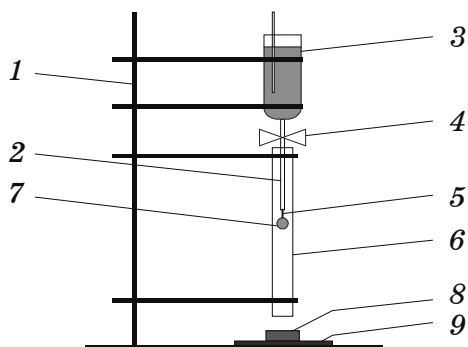


Рис. 2. Схема лабораторной установки: 1 – штатив; 2 – трубка; 3 – сосуд Мариотта; 4 – вентиль; 5 – инъектор; 6 – защитный кожух; 7 – капля; 8 – почвенный образец; 9 – мишень

В [1] М. А. Nearing описывает методику для расчета вертикального эффективного давления p_e с помощью зависимости (3). Полное давление p_f , оказываемое каплей на почвенный скелет (в твердой фазе) определяется по выражению:

$$p_f = \rho c / [\beta_f + \beta_p (\rho_p U_p / \rho_f U_f) + \rho c / \rho_f U_f], \quad (6)$$

где β_f и β_p – часть почвы, в которую проникает волна соответственно по твердой фазе почвы и по поровой жидкости; ρ_f и ρ_p – плотность соответственно материала, перемещаемого волной в скелетной части почвы, и материала, перемещаемого волной в поровой жидкости, кг/см³; U_f и U_p – скорость волны соответственно в скелете почвы и поровой жидкости, м/с [1].

Полное давление p_p в поровой влаге (в жидкой фазе) определяется так:

$$p_p = \rho c / [\beta_p + \beta_f (\rho_f U_f / \rho_p U_p) + \rho c / \rho_p U_p], \quad (7)$$

Методика определения параметров, входящих в зависимости (6) и (7), описана в [1].

Также рассчитывалось значение давления p для гидравлического удара по зависимости (4).

Исследовались образцы почвы из орошаемого фермерского хозяйства «ИП глава КФХ Бабунов Ю. А.», расположенного в Коломенском районе Московской области. Это аллювиальная агроотемно-

гумусовая глееватая супесчаная почва (профиль: PU–AUG–Cg⁺⁺–Csa, плотность 1250 кг/м³, плотность скелета 2420 кг/м³). Наименование горизонтов давалось по методике Почвенного института имени В. В. Докучаева [15].

Результаты и обсуждение. Результаты расчетов показаны на рисунке 3.

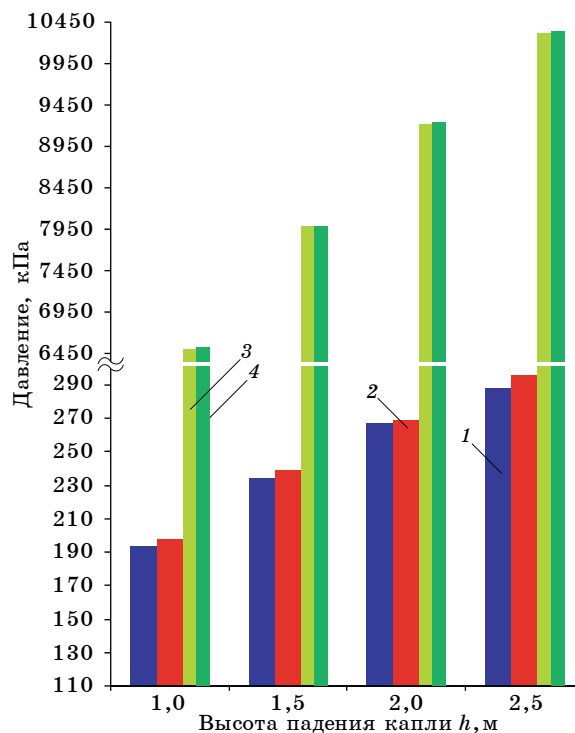


Рис. 3. Результаты расчетов давления удара капли о почву: 1 – капля диаметром 1,73 мм, давление p_e по формуле (3); 2 – капля диаметром 2,73 мм, давление p_e по формуле (3); 3 – капля диаметром 1,73 мм, давление p по формуле (4); 4 – капля диаметром 2,73 мм, давление p по формуле (4)

Значения эффективного давления p_e по формуле (3) для капли диаметром 1,73 мм находятся в пределе 193,54...285,36 кПа, для капли 2,73 мм – 197,16...295,80 кПа. Давления p по зависимости (4), соответствующие гидравлическому удару, составили бы для капли диаметром 1,73 мм – 6505,84...10326,90 кПа, для капли 2,73 мм – 6521,40 кПа...10336,70 кПа.

Полученные результаты сравнимы с данными М. А. Nearing. В работе [1] с использованием разработанной им методики расчета эффективного давления p_e по формуле (3) и специально разработанного пьезоэлектрического датчика для

капли 5,6 мм, падавших с высоты 14 м, на суглинистую почву плотностью 1200 кг/м³ получено максимальное значение давления 400 кПа. При этом исследователь отмечает, что давление гидравлического удара должно было составить для описанных условий прядка 14000 кПа.

С помощью прибора установлено время t удара капли о почву. Оно составляет $7,8...8 \cdot 10^{-5}$ с. Время удара очень короткое, но из-за малых размеров и площади контакта капля оказывает больше давление на почву.

Числа Вебера We для капли диаметром 1,73 мм находятся в пределе 459...1156, для капли 2,73 мм – 728...1829. Как видно, выполняется условие $We \gg 1$, то есть деформация капли при ударе максимальная, в результате чего происходит ее разрушение, которое заканчивается процессом разбрызгивания (рис. 1).

Выводы

В результате исследований удалось получить данные, сравнимые с экспериментами других исследователей. Авторы статьи отмечают сложность определения специальных параметров, входящих в зависимости (3), (6), (7). Эта особенность ограничивает применение методики [1] только условиями эксперимента.

Перспективным является развитие методики определения эффективно-го вертикального давления для расчета водосберегающих режимов искусственного дождевания. Методики расчета водосберегающих режимов и их параметров описаны в [16], [17].

Библиографический список

1. Nearing M. A. The mechanics of soil detachment by raindrops and runoff // *Eurasian soil science*. – 1997. – Vol. 30. – № 5. – P. 552–556.
2. Зверьков М. С. Численные исследования удара капли о твердую поверхность // *Природообустройство*. – 2015. – № 2. – С. 17–20.
3. Чижов А. В., Шмидт А. А. Взаимодействие капли жидкости с твердой поверхностью // *Письма в Журнал Технической Физики*. – 1996. – Т. 22. – Вып. 3. – С. 57–63.
4. Ghadiri H. Raindrop impact and splash erosion // *Encyclopedia of soil science*. – 2006. – P. 1428–1432.

5. Гегузин Я. Е. Капля. – М.: Наука, 1977. – 134 с.

6. Касьянов А. Е. Баллистика капельной эрозии почв // *Проблемы комплексного обустройства техноприродных систем: материалы Международной научно-практической конференции*. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП, 2013. – С. 210–215.

7. Alder W. F. The mechanics of liquid impact: Treatise on Material Science and Technology. – N. Y.: Preece, C. M., Ed.; Academic Press. – 1979. – Vol. 16. – P. 127–183.

8. Huang C., Bradford J. M., Cushman J. H. A numerical study of raindrop impact phenomena: the rigid case // *Soil Science Society of America Journal*. – 1982. – Vol. 46. – P. 14–19.

9. Richard D., Clanet C., Quere D. Contact time of a bouncing drop // *Nature*. – 2002. – Vol. 417. – P. 811.

10. Hwang J. B. G., Hammitt F. G. High-speed impact between curved liquid surface and rigid flat surface // *Journal Fluids Engineering*. – 1977. – Vol. 99. – P. 346–404.

11. Nearing M. A., Bradford J. M., Holtz R. D. Measurement of waterdrop impact pressures on soil surfaces // *Soil Science Society of America Journal*. – 1987. – Vol. 51. – P. 1302–1306.

12. Устройство для измерения динамического действия дождя на почву: Пат. 155056 (Российская Федерация, МПК G 01 N 33/24, A 01 G 25/00 / Авторы, заявители и патентообладатели: А. Е. Касьянов, М. С. Зверьков. – № 2015107899; заявл. 05.03.2015; опубл. 20.09.2015. – Бюл. № 26. – 1 с.

13. Зверьков М. С. Акустические маркеры крупности капель искусственного дождя // *Природообустройство*. – 2014. – № 5. – С. 19–21.

14. Зверьков М. С. Капельная эрозия как фактор нарушения плодородия почв орошаемых агроландшафтов // *Природообустройство*. – 2013. – № 5. – С. 31–34.

15. Полевой определитель почв. – М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. – 182 с.

16. Брыль С. В. Оценка природной теплового обеспечения агроландшафтов Московской области // *Экология и строительство*. – 2015. – № 3. – С. 26–30.

17. Брыль С. В. Режимы орошения и минерального питания при выращивании

моркови // Экология и строительство. – 2015. – № 4. – С. 18–21.

18. Брыль С. В., Зверьков М. С. Теоретические подходы к расчету вертикального эффективного давления удара капель искусственного дождя о почву и твердую поверхность // Экология и строительство. – 2016. – № 1. – С. 16–20.

Материал поступил в редакцию 25.01.2016.

Сведения об авторах

Брыль Сергей Валерьевич, кандидат

технических наук, заведующий кафедрой строительного производства; Коломенский институт (филиал) Университета машиностроения; 140402, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 408; e-mail: stroy@kimami.ru.

Зверьков Михаил Сергеевич, ассистент кафедры мелиорации и рекультивации земель; ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44; e-mail: mzverkov@bk.ru.

S. V. BRYL

Kolomna Institute of Moscow State Technical University «MAMI», Kolomna

M. S. ZVERKOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

VERTICAL EFFECTIVE PRESSURE OF DROP IMPACT ON SOIL

The article considers a problem of calculation of drop pressure on soil. It is noted that estimation of pressure as a result of raindrops impact is necessary for a better understanding of the mechanism of soil splashing under drop erosion. There are given dependencies for calculation of pressures arising at the raindrop blow on the soil in liquid and firm phases. The method is used for determination of the vertical effective pressure described in the work of M. A. Nearing (1995). For determination of time and parameters of drop impact there is used a specially developed and patented device. There are obtained values of vertical effective pressure for a drop of diameter 1.73 mm which are in the range of 193.54...285.36 kPa, for a drop 2.73 mm – 197.16...295.80 kPa. The pressure corresponding to the hydraulic impact, for a drop 1.73 mm should be 6505.84...10326.90 kPa, for a drop 2.73 mm – 6521.40 kPa...10336.70 kPa. By means of the patented device for an acoustic research there is established the time t of drop impact on soil. It is $7.8...8 \cdot 10^{-5}$ s. The blow lasts one hundred-thousands fractions of a second, but due to a small contact area the drop exerts more pressure on soil. Weber numbers We for a drop of diameter 1.73 mm are in the range of 459...1156, for a drop 2.73 mm – 728...1829. The condition $We \gg 1$ is fulfilled that is drop deformation under impact is maximal which results in its breakage which ends with a process of splashing.

Drop erosion, drop, drop impact, vertical effective pressure, soil splashing.

References

1. Nearing M. A. The mechanics of soil detachment by raindrops and runoff // Eurasian soil science. – 1997. – Vol. 30. – № 5. – P. 552–556.
2. Zverkov M. S. Chislennyye issledovaniya udara kapli o tverduyu poverhnostj // Prirodoobustroystvo. – 2015. – № 2. – S. 17–20.
3. Chizhov A.V., Shmidt A.A. Vzaimodejstvie kapli zhidkosti s tverdoj poverhnostjyu // Pisjma v Zhurnal Tehnicheskoj Fiziki. – 1996. – V. 22. – Vyp. 3. – S. 57–63.
4. Ghadiri H. Raindrop impact and splash erosion // Encyclopedia of soil sci-

ence. – 2006. – P. 1428–1432.

5. Geguzin Ya. E. Kaplya. – M.: Nauka, 1977. – 134 s.
6. Kasjanov A.E. Ballistika kapel'noj erozii pochv // Problemy kompleksnogo obustroystva tehnoprirodnih system: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-practicheskoy konferentsii. – M.: FGBOU VPO MGUP, 2013. – S. 210–215.
7. Alder W. F. The mechanics of liquid impact: Treatise on Material Science and Technology. – N. Y.: Preece, C. M., Ed.; Academic Press. – 1979. – Vol. 16. – P. 127–183.
8. Huang C., Bradford J. M., Cushman

J. H. A numerical study of raindrop impact phenomena: the rigid case // *Soil Science Society of America Journal*. – 1982. – Vol. 46. – P. 14–19.

9. **Richard D., Clanet C., Quere D.** Contact time of a bouncing drop // *Nature*. – 2002. – Vol. 417. – P. 811.

10. **Hwang J. B. G., Hammitt F. G.** High-speed impact between curved liquid surface and rigid flat surface // *Journal Fluids Engineering*. – 1977. – Vol. 99. – P. 346–404.

11. **Nearing M. A., Bradford J. M., Holtz R. D.** Measurement of waterdrop impact pressures on soil surfaces // *Soil Science Society of America Journal*. – 1987. – Vol. 51. – P. 1302–1306.

12. **Ustrojstvo dlya izmereniya dinamicheskogo deistviya dozhdya na pochvu:** Pat. 155056 (Rossijskaya Federatsiya MPK G 01 N33/24, A 01 G 25/00 / Avtory, zayaviteli i patentoobladateli: A. E. Kasjanov, M. S. Zverkov. – № 2015107899; zayavl. 05.03.2015; opubl. 20.09.2015. – *Bul.* № 26. – 1 s.

13. **Zverkov M. S.** Akusticheskiye markery krupnosti kapel' iskusstvennogo dozhdya // *Prirodooobustroystvo*. – 2014. – № 5. – S. 19–21.

14. **Zverkov M. S.** Kapel'naya eroziya kak faktor narusheniya plodorodiya pochv oroshaemykh agrolandshaftov // *Prirodooobustroystvo*. – 2013. – № 5. – S. 31–34.

15. **Polevoj opredelitel' pochv.** – M.: Pochvennyy in-t im V.V. Dokuchaeva, 2008. – 182 s.

16. **Bryl S. V.** Otsenka prirodnoy teplo-

vlagoobespechennosti agrolandshaftov Moskovskoy oblasti // *Ecologiya i stroitel'stvo*. – 2015. – № 3. – S. 26–30.

17. **Bryl S. V.** Rezhimy orosheniya i mineral'nogo pitaniya pri vyrashchivaniya morkovi // *Ecologiya i stroitel'stvo*. – 2015. – № 4. – S. 18–21.

18. **Bryl S. V., Zverkov M. S.** Teoreticheskie podhody k raschetu vertikal'nogo effektivnogo davleniya udara kapel' iskusstvennogo dozhdya o pochvu i tverduyu poverkhnost' // *Ecologiya & stroitel'stvo*. – 2016. – № 1. – S. 16–20.

Received on 25.01.2016.

Information about the authors

Bryl Sergey Valerjevich, candidate of technical sciences, head of the chair of construction production; The Kolomna institute (branch) of the University of machine building; 140402, Moscow region, town Kolomna, ul. Oktyabr'skoy revolyutsii, 408; e-mail: stroy@kimami.ru.

Zverkov Mikhail Sergeevich, assistant of the chair of land reclamation and recultivation; FSBEI HERSAU-MAA named after C. A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Bol'shaya Akademicheskaya, 44; e-mail: mzverkov@bk.ru.

ХУМАРХАНУМ ДАДАШ КЫЗЫ ДАДАШОВА

Бакинский государственный университет, г. Баку, Азербайджанская Республика

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ УРБАНИЗАЦИОННЫХ ЗОН В АЗЕРБАЙДЖАНЕ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ДИНАМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДОВ ГЯНДЖА И МИНГЕЧЕВИР)

В статье рассмотрены ландшафтно-экологические основы формирования структурно-функциональных систем ландшафтов городов Гянджа и Мингячевир. Целью исследования являлось рассмотрение процесса формирования городских ландшафтов под влиянием природных систем, относящихся к экологическим ландшафтам, таких, как геологические и геоморфологические основы, климат. Автор пришел к выводу о том, что следует выделить следующие структурные элементы городских ландшафтов городов Гянджа и Мингячевир: 1) основной город; 2) центральная часть; 3) окрестности. Все это создает возможность реализации идеи ландшафтного планирования городов Гянджа и Мингячевир. Здесь на основе природного ландшафта формируется антропогенный и городской пейзаж. Вместе с тем спонтанное расширение городских ландшафтов и неучет современных принципов городского планирования и экологических норм, местных и региональных особенностей в будущем может привести к серьезным проблемам в структуре и функциональных аспектах городов Гянджа и Мингячевир. Много шума, беспорядочный прирост населения, перегруженность дорог и другие транспортные проблемы, неправильное размещение зданий, различные бытовые виды загрязнения окружающей среды (превышающие пределы экологических стандартов), стремительная деградация природных ландшафтов, случаи несоблюдения требований безопасности были изучены в качестве отрицательных характеристик городской среды. Уровень выполнения природных и экологических функций городского ландшафта зависит от физического и духовного здоровья людей. Сохранение неизменными высоких экологических характеристик городского ландшафта является одним из самых важных условий для успешного развития и устойчивости города.

Аэрокосмические фотографии, урболандшафты, рельеф, климат, формирование городов.

Введение. В последние годы, наряду с бурным развитием промышленности, идут вверх и темпы роста городского населения, происходит расширение городских районов, большие естественные и агроландшафтные площади подвергаются трансформации, превращаясь в урболандшафты, идет ускоренный процесс формирования новых промышленных парков и промышленных центров, сельских населенных пунктов, помимо этого, процессы урбанизации привели к образованию сложной техногеосоциальной структуры городских ландшафтов. Спонтанное расширение городских ландшафтов и неучет современных принципов городского планирования и экологических норм, местных и региональных особенностей в будущем может привести к серьезным проблемам в структуре и функциональных

аспектах городов. Неучет в Баку при градостроении городских местных природных и экологических особенностей привел к превышению антропогенных нагрузок на склоны в Ахмедлы, Зых, Старый Гюнешли и др.; происходят оползни и оползни-обрушения, что сопровождается разрушением жилых районов. То же самое можно сказать о городе Шеки, где также произошли серьезные разрушения.

В последние годы наблюдается ускоренное развитие таких городов, как Гянджа и Мингячевир, причем как в горизонтальных, так и вертикальных структурах. Указное явление наблюдается по всей республике. За последние 25 лет в городах Гянджа и Мингячевир ландшафтная площадь увеличилась соответственно в 1,2 и 1,4 раза. Из-за появления новых городских массивов,

техногенно-промышленных зон, а также дорожно-коммуникационных систем агроландшафты, игравшие значительную роль в снабжении города продуктами питания, теперь сменились урболандшафтами.

Учитывая это, в городах Гянджа и Мингячевир, в целях предотвращения природно-техногенных по своему происхождению экологических кризисов, а также для организации правильного управления этими процессами было проведено полевое исследование процесса формирования ландшафтно-экологических основ указанных городов, составлены географическая информационная система и широкомасштабные карты.

Территорией исследования является городской ландшафт городов Гянджа и Мингячевир общей площадью 240 км², что составляет 0,28 % от общей территории страны. На долю Гянджи выпадает 110 км², или 0,15 % от всей территории республики, а 130 км² – это территория города Мингячевира, или 0,13 % от территории страны. Город Гянджа по своей экономической мощи отстает только от города Баку, а Мингячевир – от городов Баку, Гянджа и Сумгаит.

В Гяндже проживает 313 тысяч человек, в Мингячевире население составляет 150 тысяч человек (данные 2012 года). В Гяндже демографическая нагрузка на 1 км² составляет 2845,5 человек, в то время как в Мингячевире она достигает 1153,8 человек. Этот показатель по Гяндже более чем в 2 раза превышает показатель по городу Баку, с Мингячевиром Баку примерно равны. Гянджа с севера соседствует с Самухским регионом, а с юга – Гейгёлем. Мингечаурское водохранилище соседствует с Мингячевиром на севере, востоке, юге и западе – с Евлахской административной областью. У Гянджи географические координаты 40°40'58" градусов северной широты, 46°21'38" градусов северной долготы. Длина зоны, географические координаты города Мингячевир 40°46'12" градусов северной широты, 47°02'56" градусов северной долготы.

У города Гянджи административные районы – Кяпази Низами. Территориальная дифференциация города Гянджи и уровень

освоения земли в соответствии с формой пространства могут быть очень легко установлены через аэрокосмическую съемку. На фотографии границы города Гянджи выделены красной линией, и в то же время и Кяпязский, и Низаминский районы в полной мере отражены в современных границах. В целом мы можем легко наблюдать, что при анализе территории Низаминского района видно, что здесь территория практически полностью освоена.

На территории Низаминского района остались малозаселенными узкая полоска земли в основном на западе и такая же полоска земли – на востоке этого района. Это означает, что восточная часть района освоена более плотно по сравнению с западной частью. Косвенно же это значит, что природные компоненты на данной территории подверглись беспощадной трансформации. В Кяпязском же районе лишь центр и юг, то есть сопредельные с Низаминским районом территории, освоены побольше. В целом можно сказать, что в Кяпязском районе освоены в большей степени лишь центр и юг, то есть места, сопредельные с Низаминским районом места.

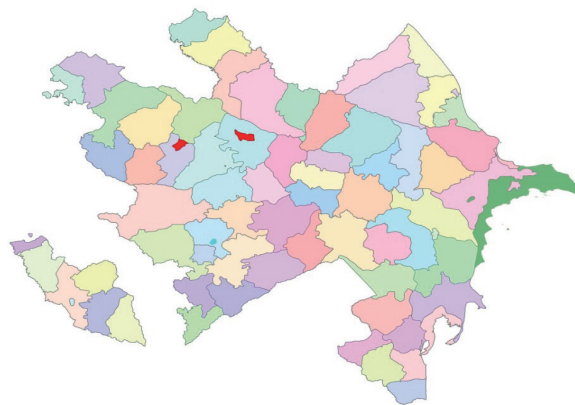


Рис. 1. Область исследования (показана красным цветом)

Можно сказать, что в указанном районе восточные и западные территории освоены меньше и в целом почти пустуют. Однако, как мы отмечали еще раньше, стремительное расширение освоенных территорий города Гянджа, их рост продолжается. Даже на окружающих Гянджу территориях продолжается тенденция приобретения земель. Можно

сказать, что в ближайшем будущем процесс освоения территории будет еще больше углубляться.

На основании постановления Кабинета Министров Азербайджанской Республики от 18 апреля 1988 года в Гяндже был создан исторический заповедник. 20 ноября 1988 года приказом № 420 было подтверждено разделение этого заповедника на две части: 1482 га было отведено территории города Гянджи, 610 га было отведено Самухскому району. 2051 га территории является исторической землей, на которой выросла Гянджа [5].



Рис. 2. Общий вид города Гянджи

Методика. При исследовании была применена топографическая карта в масштабе 1 : 25000, использованы космические фотографии, тематические карты различного содержания (геологические, геоморфологические, климатические, гидрографические, растительные и др.). помимо этого, был analyzed материал полевой практики. Отмеченные материалы были анализированы с помощью программы ArcGIS 10.3, дающие широкие возможности для их исследования на основе GIS.

Города Гянджа и Мингячевир являются по своей значимости вторым и четвертым соответственно после Баку. Мингячевир является городом, где больше всего производится электроэнергии. Потому исследование урболандшафтов этих городов, определение динамики их развития, подготовка прогнозов их последующего развития, анализ их современ-

ного ландшафтно-экологического состояния, определение методов и условий по выявлению наличных проблем и путей их решения являются наиболее приоритетными вопросами, которым посвящена данная статья. Существенным шагом здесь явится анализ всех необходимых географических компонентов указанных городов. В данном случае следует в отдельности анализировать природно-географические условия на территории указанных городов. В формировании каждого ландшафтного комплекса каждого из этих больших городов участвует геологическое строение почвы, то есть геоструктурные единицы, составляющие эту территорию, последовательность залегания пород, литологические особенности пород, элементы рельефа, климатический фактор, гидрографическая мозаика, почвенный и растительный слой, и др. Все это является географическим компонентом. Город Гянджа находится выше моря на 442 м, в тектонической зоне Куринского разлома. Благодаря этому территория Гянджи относится к зонам землетрясений до 9 баллов. Именно из-за происходивших на протяжении длительной истории землетрясений происходит разбегание от городского ядра (центра) к периферии.

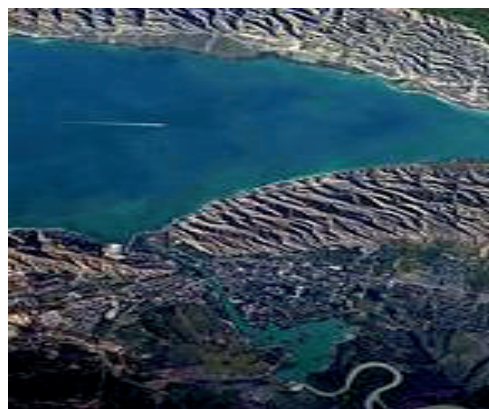


Рис. 3. Мингячевирское водохранилище и город Мингячевир (общий вид)

Геологическое строение и рельеф. Ландшафт города связан с восточной частью Гянджа-Казахской степи. Вышеупомянутая степь по своим структурным особенностям совместима с Евлахской синклинальной складкой Среднекуринской впадины. Его северо-восточная граница

соответствует излому Южной Куры. Он распространяется на восток долины реки Куры до Кошкарчая. Нарушение осадков верхнего плиоцена, расположенного в направлении к линии излома Джейранчель, изменив место расположения к югу, покрыло осадками дислокацию верхнего плиоцена и плейстоцена. Гянджа расположена в расширяющейся Гянджа-Казахской степи, где абсолютная высота колеблется в диапазоне от 120...280 м до 400...450 м. Высота равнины по направлению к югу постоянно растет и на южных склонах Малого Кавказа достигает 400...600 м.

Здесь граница равнины проходит через глубинный излом переднего Малого Кавказа (Сихалибейли, 1960). В рамках этих границ ширина равнины достигает 30-35 км. На юго-востоке равнина незаметно расширяется и переходит в карабахскую низину. На западе же, в соответствии с поперечным хребтом Малого Кавказского хребта разделяются Бабадагский хребет и Борчалинская равнина. Территория, где расположен городской ландшафт, с точки зрения литологии организован из фаций аллювиальных, морских и континентальных отложений Хвалынского, Хазарского, Гирканского и Бакинского периодов [1]. Городской ландшафт Мингячевира сформирован из фаций новокаспийского, хазарского и хвалынского этапов древних и континентальных отложений. Гянджа относится к сейсмической зоне до 9 баллов, а Мингячевир – 7 баллов. Именно поэтому в Гяндже часто случаются землетрясения. Так, произошли землетрясения в 1139 году в Гяндже мощностью 9 баллов, в 1235 году – также 9 баллов, 1867 и в 1942 годах – 7 баллов, все это способствовало сильным разрушениям. На территории Гянджа широко распространен экзогенный рельеф в виде конусов, речных долин, оврагов и ущелий, террас и др. Городской ландшафт большого Мингячевира состоит из пролювиально-делювиальных и аллювиально-пролювиальных равнин, из невысоких гор на западе, сюда входят долины, состоящие из псевдокарстов и аллювиальных отложений возраста голоцена [1]

Климат. В Гяндже и Мингячевире преобладает полупустынный и сухой степной климат с мягкими и засушливыми зимами. Количество солнечных часов

– 2200...2500. В течение года в Гяндже солнечная радиация в общей сложности достигает 120...130 ккал/см², Мингячевире – 125...135 ккал/см². В течение года минимальная температура в Гяндже – 14...22 °С, Мингячевире – 18...26 °С. В течение года абсолютный максимум температуры в Гяндже 30...37 °С, в Мингячевире – 37...40 °С. [1] В течение года, сумма температур, которые выше +5 °С, в Гяндже и Мингячевире составляет 3500...5000 °С. В течение года сумма температур, которые выше +10 °С, в Гяндже составляет 3800...4400 °С, в Мингячевире – больше, чем 4400 °С.

С апреля по сентябрь в течение месяца в Гяндже выпадает 100...300 мм осадков, в Мингячевире – 100...200 мм. С октября по март в Гяндже и Мингячевире количество осадков – 100...150 мм. Количество дней в течение года, когда выпадает более 0,1 мм осадков, составляет в Гяндже и Мингячевире – 70...90 дней. Количество грозных дней в течение года в Гяндже составляет 25...35, в Мингячевире – 5...15 дней. [1]. В течение года количество дней со снежным покрытием составляет менее 10 дней в Гяндже, в Мингячевире – 10...20 дней. В течение года средняя толщина снежного покрова в Гяндже и Мингячевире меньше, чем 10 см. В течение года относительная влажность в Гяндже составляет 20...50 %, в Мингячевире в 20...30% [1].

При рассмотрении данных таблиц 1 и 2 видно, что в различные сезоны и месяцы наблюдаются различные показатели температур и осадков. Основной причиной этого является наличие различного рельефа, создающего своеобразный климат. Так, город Гянджа расположен как в предгорной области, так и низменных районах, в то время как город Мингячевир расположен ниже, на равнинной местности. По этой причине среднемесячные показатели температуры г. Гянджи ниже по сравнению со среднегодовой температурой Мингячевира. Существует такая же разница в распределении осадков, но причина для установления такого различия не только в рельефе: это связано с Мингячевирским водохранилищем, как главным определителем формирования условий микроклимата. Так, Мингячевирское водохранилище для города Мингячевир исполняет функцию искусственного озера в

деле изменения климатических условий, прямую роль в транспорте влаги путем воздушных течений. Это самое большое озеро в стране (площадь 605 км²), его активное участие в формировании климата позволяет в городе Мингячевире создавать своеобразие в циркуляции воздуха. По этой причине среднегодовое количество осадков в Мингячевире в 1990-е годы (в соответствии с приведенными выше таблицами) было больше, чем Гяндже. Теперь эта цифра оценивается в 250...300 мм. В этой области в климате преобладают мягкие зимы, жаркое и сухое

лето. Средняя годовая температура, которая наблюдается в Мингячевире составляет 14...15 °С, самая высокая температура – 42 °С (июль–август), в то время, как самая низкая температура – 10°С (январь–февраль). На территории Гянджи преобладают восточные, западные и северо-западные ветры, на территории же Мингячевира в основном преобладают восточные, западные и северо-восточные ветры. Через территорию Гянджи протекает Гянджачай, а Мингячевир пересекает река Кура, крупнейшая река на территории Южного Кавказа.

Таблица 1

Климатические показатели города Гянджи [2]

Элементы климата	Значения показателей по месяцам												среднегодовые
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
Среднемесячная температура, °С	1,9	2,9	6,7	12,6	17,9	22,1	25,3	24,4	20,4	13,9	8,7	4,3	13,4
Разница в распределении среднемесячной нормы, °С (1961–1990, 1881–1960 гг.)	0,8	0,1	0,3	0,6	0,3	–0,1	–0,1	–0,6	0,2	–0,4	0,6	0,8	0,23
Среднемесячные осадки, мм	10,4	14,9	19,2	31,1	43,4	49,9	23,4	19,0	16,9	30,6	15	13,1	287
Разница в распределении среднемесячных осадков, в % (1961–1990, 1881–1960 гг.)	4	35	20	15	17	43	2	27	–23	39	–21	19	16

Таблица 2

Климатические показатели города Мингячевир [2]

Элементы климата	Значения показателей по месяцам												среднегодовые
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
Среднемесячная температура, °С	3,5	4,1	7,5	13,3	19,4	24	27,4	26,6	22,4	16	10,5	6	15
Разница в распределении среднемесячной нормы, °С (1961–1990, 1881–1960 гг.)	0,8	0	0,3	0,4	0,6	0	–0,2	–0,3	0,4	–0,1	0,4	0,9	0,3
Среднемесячные осадки, мм	19,2	25,4	29,3	34,2	45,5	44,1	19,9	18,8	25,1	40,6	26,6	19,1	347,9
Разница в распределении среднемесячных осадков, в % (1961–1990, 1881–1960 гг.)	7	21	–14	14	34	47	33	57	0	19	–11	–9	14

Городской ландшафт. Быстрая урбанизация создает во всем мире проблемы устойчивости в развитии городов. Устойчивое развитие уравнивает экономические и экологические задачи. Исследователи рассматривают такие важные вопросы, как экосистема города и значение ее при

рассмотрении ландшафта города [6]. Значение слова «урбан» связано с различными обстоятельствами, например, такими, как плотность населения, растительный покров и культурный опыт. Тем не менее, воздействие на окружающую среду урбанизации – достаточно сложное

понятие, то сеть следует определить, каким образом повышение температуры воздуха и характер циркуляции воды влияют на изменения экологических процессов. В результате урбанизации появляется мозаичный комплекс землепользования, более гетерогенный геометрический комплекс окружающей среды, более сложный вид с экологической точки зрения; здесь больше фрагментирован пейзаж, наблюдается вегетативность земельного покрова ландшафта, что отражает сложный процесс формирования этих процессов, их более сложный случай. [6] Для разъяснения экологических процессов пространственная неоднородность и сложность повышает масштаб и необходимость точности в работе. В формировании системы идентификации людей сильное воздействие социальных и культурных факторов становится доминирующим и захватывающим. Тем не менее, формирование наших городских пейзажей и знания, представления об их экологии далеки от завершения. Влияние региональных и даже глобальных городов на функционирование экосистем, особенно становление проблемы урбанизации способствует ухудшению отношений между людьми. [6] Экосистема удовлетворяет большие потребности, которые необходимо особо защищать, естественно, это дает возможность людям взаимодействовать с миром, удовлетворять потребности в том, чтобы жить и работать. Урбосистемы, так же, как и экосистемы, предоставляют многочисленные экосистемные услуги, некоторые из них очевидны, некоторые из них остаются незамеченными. Подобные экосистемные услуги есть продукты экосистемных процессов и их функций. [7]

С процессами урбанизации во всем мире изменились драматически и природные ландшафты. Неблагоприятное воздействие на окружающую среду, вызванное потреблением природных ресурсов, является самым высоким именно в городской среде. Транспорт (пробки), загрязнение воздуха, воды и почвы, проблемы землепользования и выбросы парниковых газов происходят в основном под влиянием урбанизации. Последствия процесса урбанизации не ограничиваются исключительно ущербом окружающей среде, оказывая социально- и культурно-экономическое воздействие, способствуют изменению не только в структуре и каче-

стве физической среды, но и сочетает это с воздействием на социальный образ жизни. В настоящее время есть тесная связь между физической окружающей средой и качеством жизни. Таким образом, планирование и проектирование физической окружающей среды требует простую и комплексную перспективу. [7]

Согласно проведенным исследованиям, ускорение урбанизации и рост агломерации городов дает возможность говорить о глобальном влиянии людей на формирование земной оболочки. По крайней мере, лишь малая часть Земли остается в своей естественной форме, можно найти подобное только в областях отсутствия человеческой деятельности. Известно, что на основе природного ландшафта формируется антропогенный и городской пейзаж.

Ландшафтные системы имеют следующие иерархические уровни: [4]

макроуровень: городская агломерация, промышленный центр, гео-промышленный комплекс;

мезоуровень: микрорайоны, промышленный центр, агроландшафт;

микроуровень: дворы, спортивные площадки, пешеходные переходы.

Искусственные и природные части ландшафта характеризуются наличием прогрессивных и регрессивных отношений с ними, например, связь между климатом и планировкой городской инфраструктуры, учет состава рельефа на больших площадях. [4]

Устойчивость является неотъемлемой чертой городского пейзажа. Исследователи предлагают следующие методы для анализа структуры системы городского пейзажа: [4]

а) исторический;

б) природный.

Структурные элементы городского пейзажа сгруппированы в соответствии с этой классификацией:

а) антропогенные элементы;

б) природные элементы.

Уровень выполнения природных и экологических функций городского ландшафта зависит от физического и духовного здоровья людей. Сохранение неизменными высоких экологических характеристик городского ландшафта является одним из самых важных условий для успешного развития и устойчивости города. Среди важных

функций городского пейзажа в условиях самое главное – улучшение качества жизни людей в смоделированных искусственных условиях. [4]

Именно поэтому развитие прибрежной зоны Куры имеет особое значение. Эти территории известны как очень древние поселения, причем современный функциональный смысл они приобрели в начале XX века, что связано, прежде всего, с формированием промышленной отрасли. [3]

Транспортная сеть и сектор услуг этих городов связаны, прежде всего, с пространственным развитием городов в прибрежной зоне. Ранний период развития Мингячевира приходится на 1950 год. При рассмотрении характеристик архитектуры городов Куринского побережья можно отметить, что функциональное использование их ландшафтов связано с их специфическим взаимодействием с прибрежной зоной, и в то же время каждый отдельный город связан с береговой линией по-своему. [3]

Мингячевир является одним из молодых промышленных поселений на реке Кура. В ходе первоначального заселения в 1945 году, город здесь еще не был в состоянии удовлетворить все функциональные и социальные потребности населения, в 1948 году претерпел изменения левый берег реки, кроме того, было создано искусственное Мингячевирское море (искусственное водохранилище). Это создало возможность по-другому взглянуть на происходящие процессы с точки зрения архитектуры и планирования. [3]

Выводы

Доступность услуг, развитие здравоохранения, улучшение возможности для получения образования, быстрое развитие сектора услуг, рост культурных учреждений являются ключевым структурным элементом городского пейзажа, определяющим его функции.

Много шума, беспорядочный прирост населения, перегруженность дорог и другие транспортные проблемы, неправильное размещение зданий, различные бытовые виды загрязнения окружающей среды (превышающие пределы экологических стандартов), стремительная деградация природных ландшафтов, случаи несоблюдения требований безопасности были изучены в качестве отрицательных характеристик городской среды.

Среди упомянутых факторов на первом месте стоит социальная сторона городской среды, на втором – экологическая сторона проблемы. В случае положительного решения первого комплекса страдает экологическая сторона, решение указанного момента в комплексе в городской среде имеет исключительно важное значение.

Библиографический список

1. Азербайджанский национальный атлас. Комитет по землеведению и картографии Азербайджанской Республики. – Баку: Ваку, 2014. – С. 112–152
2. Халилов С. Г., Сафаров С. Г. Месячные и годовые нормы температуры воздуха и атмосферных осадков в Азербайджанской Республике. – Баку, 2001. – С. 16–78.
3. Абдуллаева С. М. Архитектурные особенности развития прибрежных городов реки Куры // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. В 2-х ч. – Ч. I. – Тамбов, 2012. – № 9 (23). – С. 14–17.
4. Черныш Н. А. Структура городского ландшафта. – Астана: Казахстан, 2008 [Электронный ресурс]. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/struktura-gorodskogo-landshafta> (Дата обращения 11.11.2015).
5. Географический атлас Азербайджана. Управление делами Президента Азербайджанской Республики. Президентская Библиотека. – Баку: Азернешр, 2010. – 65 с.
6. Erik Andersson. Urban landscapes and Sustainable Cities // Ecology and Society. – 2006. – Vol. 11(1):34 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ecologyandsociety.org> (Дата обращения 11.11.2015).
7. Murat Z. Memlik. Urban Landscape Design, Landscape Planning, Dr. Murat Ozyavuz (Ed.) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.intechopen.com/books> (Дата обращения 11.11.2015).

Материал поступил в редакцию 11.11.2015.

Сведения об авторе

Дадашова Хумарханум Дадашкызы, докторант кафедры «Физическая география», Бакинского государственного университета; Азербайджанская Республика, г. Баку, ул. З. Халилова, 23.; e-mail: xdadashzade@mail.ru.

KHUMARKHANUM DADASH KYZY DADASHOVA

Baku State University, Baku, Azerbaijan

LANDSCAPE-ECOLOGICAL BASES OF FORMING URBANIZED ZONES IN AZERBAIJAN AND PECULARITIES OF THEIR DYNAMIC DEVELOPMENT (BY AN EXAMPLE OF GANJA AND MINGACHEVIR CITIES)

The article describes the landscape and ecological bases for formation of structural-functional systems of landscapes of the cities of Ganja and Mingachevir. The aim of the study was to consider the process of formation of urban landscapes under the influence of natural systems related to environmental landscapes such as geological and geomorphologic bases, climate. The author came to the conclusion that it is necessary to single out the following structural elements of urban landscapes of Ganja and Mingachevir: 1) the main city; 2) the central part; 3) neighborhood. All this creates the possibility of realization of the idea of landscape planning of Ganja and Mingachevir. Here, based on the natural landscape anthropogenic and urban landscape is formed. However, the spontaneous expansion of urban landscapes and the neglect of the principles of modern principles of urban planning and environmental regulations, local and regional features in the future can lead to serious problems in the structure and functional aspects of Ganja and Mingachevir. A lot of noise, disorderly population growth, congestion and other transportation problems, improper placement of buildings, various types of household pollution (exceeding the limits of environmental standards), rapid degradation of natural landscapes, cases of non-compliance with the safety requirements have been studied as negative characteristics of the urban environment. The level of performance of natural and ecological functions of the urban landscape depends on the physical and mental health. Maintaining the same high environmental characteristics of the urban landscape is one of the most important conditions for the successful development and sustainability of the city.

Aerospace photographs, urban landscapes, relief, climate, forming of cities.

References

1. Azerbaijansky natsionalny atlas. Komitet po zemlevedeniyu I kartografii Azerbaijanskoy Respubliki. – Baku: Baku, 2014. – S. 112–152.
2. Khalilov S. G., Safarov S. G. Mesyachnye i godovye normy temperatury vozduha i atmosfernih osadkov v Azerbaijanskoy Respublike. – Baku, 2001. – S. 16–78.
3. Abdullaeva S. M. Arhitekturnye osobennosti razvitiya pribrezhnyh gorodov reki Kury // Istiricheskie, filosofskie, politicheskie i yuridicheskie nauki, kuljturologiya i iskusstvovedeniye. Voprosy teorii i praktiki. V 2-h ch. . – ChI. – Tambov, 2012. – № 9 (23). – S. 14–17.
4. Chernysh N. A. Struktura gorodskogo landshafta. – Astana: Kazakhstan, 2008 [Elwectronny resurs]. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/struktura-gorodskogo-landshafta> (Data obrashcheniya 11.11.2015).
5. Geografichesky atlas Azerbaijana. Up-

ravlenie delami Prezidenta Azerbaijanskoy Respubliki. Prezidentskaya Biblioteka. – Baku: Azerneshr, 2010. – 65 s.

6. Erik Andersson. Urban landscapes and Sustainable Cities // Ecology and Society. – 2006. – Vol. 11(1):34 [Electronny resurs]. – URL: <http://www.ecologyandsociety.org> (Data obrashcheniya 11.11.2015).

7. Murat Z. Memlük. Urban Landscape Design, Landscape Planning, Dr. Murat Ozyavuz (Ed.) [Electronny resurs]. – URL: <http://www.intechopen.com/books> (Data obrashcheniya 11.11.2015).

Received on 11.11.2015.

Information about the author

Khumarkhanum Dadash kzy Dadashova, doctoral candidate of the chair «Physical geography», Baku State University, Baku, The Azerbaijanian Republic, Baku, ul. Z. Khalilova, 23; e-mail: xdadashzade@mail.ru.

УДК 502/504:631.67.03

Ю. Е. ДОМАШЕНКО, С. М. ВАСИЛЬЕВ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», г. Новочеркасск

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОКСИХЛОРИДНОГО КОАГУЛЯНТА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОРОШЕНИЯ

Целью исследований являлось выявления эффективных реагентов для осветления животноводческих стоков с помощью индивидуальных алюмосодержащих коагулянтов. В статье представлены исследования влияния коагуляционной обработки на фракционирование животноводческих стоков. Проанализированы основные виды коагулянтов и флокулянтов, используемых для обработки сточных вод. В качестве тест-объекта выбраны животноводческие стоки ООО «Аксайская Нива». Эксперимент предусматривал введение рабочего раствора коагулянта в животноводческие стоки, перемешивание в течение 3–5 минут с последующим отстаиванием в течение 1 часа. Эксперименты проводили в стандартных цилиндрах объемом 100 мл. Как показали результаты экспериментальных исследований, при одинаковой дозе полиоксихлорид алюминия с различной основностью наиболее высокая эффективность разделения животноводческих стоков на жидкую и твердую фракции наблюдалась при обработке низкоосновным полиоксихлоридом алюминия с торговой маркой АКВА-АУРАТ™14. На основании полученных результатов разработан способ подготовки животноводческих стоков свиноводческих хозяйств для орошения и удобрения сельскохозяйственных угодий, который включает в себя двухэтапную реагентную обработку. На первом этапе жидкие отходы свиноводческих хозяйств обрабатывают подкисляющим реагентом – суспензией фосфогипса с дозой 9...35 г/дм³ до pH 6,5...7,5, а на втором вводят низкоосновный оксихлорид алюминия марки Аква-Аурат™14 в виде 5...10 % раствора с дозой 3...30 мг/дм³ по Al₂O₃. В процессе реагентной обработки формируются коллоидные частицы, которые под воздействием гравитационных сил выпадают в осадок. В качестве отстойного сооружения выбран метод тонкослойного отстаивания, что значительно сокращает время отстаивания.

Коагулянты, твердая фракция, полиоксихлорид алюминия, орошение, животноводческие стоки, жидкая фракция, фракционирование.

Введение. В настоящее время возросла проблема негативного влияния на окружающую среду скоплений жидких навозных стоков вблизи животноводческих комплексов, а также вторичное загрязнение нитратами и патогенными микроорганизмами почвогрунтов, поверхностных и грунтовых вод. Загрязнение вод местного стока способствует изменению показателей качества кормовых культур на сельскохозяйственных угодьях, которые выращиваются на территориях непосредственно примыкающих к животноводческим фермам. Животноводство оказывает значительное влияние на загрязнение вод вследствие того, что фермы и комплексы располагаются преимущественно в непосредственной близости от рек и озер. Так как продолжительность миграционного пути биогенов от их источников до водных объектов несет не

продолжительный характер, они не находятся в почве в подвижном состоянии и их концентрация остается высокой.

На территории животноводческих предприятий ежегодно образуется более 1240 млн тонн навоза, которые в своем технологическом цикле применяют следующие схемы утилизации жидких животноводческих соков: очистка с разделением на твердую и жидкую фракции, то есть обработка сточных вод обычно производят в две стадии, называемые первичной и вторичной обработкой. Приблизительно 10 % сточных вод вообще не получают обработки, около 30 % получают только первичную обработку и около 60 % подвергаются также вторичной обработке [1].

Как показывают исследования ряда авторов О. Е. Ясониди, О. А. Суржко, М. А. Федорченко [2, 3] и ряда других

наиболее эффективным способом подготовки жидких животноводческих стоков является реагентное разделение с применение современных коагулянтов.

Учитывая свойства и особенности вероятных примесей, которые могут присутствовать в сточных водах и животноводческих стоках, рядом авторов описан механизм коагулирования коллоидно-дисперсных примесей воды. Теоретические основы процесса коагуляции гидролизующими коагулянтами примесей природных и сточных вод изложены в работах Е. Д. Бабенко, Л. А. Кульского, П. П. Строкач, Д. М. Минца, С. Н. Линевича [4–7].

Для коагуляционной обработки сточной воды используют в качестве основных реагентов – коагулянты и вспомогательных – флокулянты. В отечественной практике водообработки к коагулянтам принято относить низкомолекулярные органические или органические высокомолекулярные соединения, интенсифицирующие процесс образования более крупных агрегатов за счет объединения частично с коагулированных и еще не скоагулированных частиц примесей воды.

На территории России широкое распространение получили неорганические коагулянты, представляющие собой соли алюминия, железа или их смесей. Органические коагулянты представляют собой катионные полиэлектролиты. Их отличие от флокулянтов заключается в том, что они являются низкомолекулярными водорастворимыми полимерами с молекулярной массой 10000...300000 [7].

Достаточно подробно приведен анализ и дана систематизация торговых марок неорганических коагулянтов, выпускаемых в промышленных объемах, в работах В. Л. Драгинского, Л. П. Алексеевой и С. В. Гетманцева [8].

Целью исследований являлось выявления эффективных реагентов для осветления животноводческих стоков с помощью индивидуальных алюмосодержащих коагулянтов.

Методы и материалы исследований. Материалом для исследования являлись реагенты, используемые при фракционировании животноводческих стоков. В частности, рассмотрены различные группы оксихлоридных коагулянтов.

Для приготовления водного 10 % раствора 41,6 г необходимо было 40,1 г АКВА-АУРАТ™30 растворить в 81,6 см³ воды.

Аква-Аурат™10, Аква-Аурат™14, Аква-Аурат™18 выпускается в виде готового раствора, рекомендуемая доза для очистки поверхностных вод 2...10 мг/дм³ по Al₂O₃ в зависимости от качества исходной воды.

Содержание фосфора (по P₂O₅) определяли колориметрическим методом по Фоглеру в трехкратной повторности, основанного на реакции взаимодействия фосфатов с молибдатом аммония в среде серной кислоты. В качестве восстановителя фосфорно-молибдатного комплекса используют аскорбиновую кислоту в присутствии ионов трех валентной сурьмы.

Содержание азота аммонийного определяли колориметрическим методом с реактивом Несслера. Метод основан на взаимодействии иона аммония с реактивом Несслера, в результате чего образуется йодистый меркураммоний желтого цвета.

Содержание нитритов определяли колориметрическим методом с реактивом Грисса. Метод основан на диазотировании сульфаниловой кислоты присутствующими в пробе нитратами и реакции полученной соли с альфанафтиламином с образованием красно-фиолетового или розового азокрасителя.

Содержание нитратов определяли колориметрическим методом с салицилатом натрия. Определение основано на реакции нитратов с салицилатом натрия в среде серной кислоты, в результате которой образуются окрашенные в желтый цвет соли нитросалициловой кислоты.

Результаты исследований и их обсуждения. На сегодняшний день в практике подготовки и очистки различных категорий вод, включая и сточные, нашли применения оксихлоридные коагулянты, которые выпускаются в двух товарных формах виде раствора и в виде кристаллического порошка. В международной классификации разновидности этого коагулянта получили название «polyaluminium chlorides» сокращенно РАС. На территории Российской Федерации данная категория коагулянтов получила названия: оксихлорид (ОХА) и полиоксихлорид алюминия (ПОХА) с торговой маркой.

В виде раствора выпускаются коагулянты ПОХА с торговыми марками АКВА-АУРАТ™10, АКВА-АУРАТ™14 и АКВА-АУРАТ™18, а в виде кристаллического порошка – АКВА-АУРАТ™30.

Физико-химическая характеристика коагулянтов (ОХА, ПОХА) представлена в таблице 1 [7].

С целью выявления эффективных реагентов для осветления животноводческих стоков с помощью индивидуальных алюмосодержащих коагулянтов, представленных в таблице 1, необходимо провести ряд экспериментов. В качестве тест-объекта выбраны животноводческие стоки ООО «Аксайская Нива» с характеристиками, представленными в таблице 2.

Таблица 1

Физико-химические показатели качества АКВА-АУРАТ

Наименование показателей	Норма для марки			
	АКВА-АУРАТ™10	АКВА-АУРАТ™14	АКВА-АУРАТ™18	АКВА-АУРАТ™30
Массовая доля оксида алюминия (Al_2O_3), %	10,0±0,6	13,6±0,5	17,0±0,5	30,0±3,0
Массовая доля хлора (Cl), %	13,0±2,0	22,0±2,0	21,0±2,0	35,0±5,0
Плотность при 20°C, г/см³	1,24±0,02	1,33±0,03	1,36±0,02	–
pH	2,5±0,5	0,7±0,3	1,0±0,5	–
Массовая доля примесей, % не более				
Железо (Fe)	0,01	0,01	0,01	0,03
Свинец (Pb)	0,001	0,001	0,001	0,003
Кадмий (Cd)	0,001	0,001	0,001	0,001
Мышьяк (As)	0,001	0,001	0,001	0,003
Массовая доля нерастворимого в воде осадка, %, не более	0,1	0,1	0,1	0,3
Класс опасности	3	3	3	3
ПДК, г/дм³	1,5	1,5	1,5	1,5

Таблица 2

Характеристика животноводческих стоков

Показатели	Животноводческие стоки до обработки	
	Проба 1	Проба 2
pH	7,2	7,5
Влажность, %	94,5	95,3
Зольность, %	30,7	31,5
Органическое вещество, %	68,2	68,5
Азот, мг/дм³		
общий	578	612
NH_4^+	467	486
NO_2^-	0	0
NO_3^-	23	15
P_2O_5 , мг/дм³	680	665
K_2O , мг/дм³	600	598

Эксперимент предусматривал введение рабочего раствора коагулянта в животноводческие стоки, перемешивание в течение 3–5 минут с последующим отстаиванием в течение 1 часа. Эксперимент проводили в стандартных цилиндрах объемом 100 мл.

Как показали результаты экспериментальных исследований (таблица 3), при одинаковой дозе ПОАХ с различной основностью наиболее высокая эффективность разделения животноводческих

стоков на жидкую и твердую фракции наблюдалась в первом опыте, а именно при обработке низкоосновным ПОХА. Общий процесс отстаивания во всех трех опытах составил 60 мин. Как показали исследования физических параметров осадка (твердой фракции) наиболее низкое значение удельного сопротивления наблюдалось в первом опыте и составило $3,5 \cdot 10^5$ см/г, тогда как в опыте 2 и опыте 3 удельное сопротивление составило $13,7 \cdot 10^5$ см/г, и, соответственно, $16,8 \cdot 10^5$

см/г. Что позволяет сделать вывод, что в наиболее предпочтительно при обработке животноводческих стоков использовать низкоосновные ПОХА, так как чем ниже значение удельного сопротивления осадка, тем легче происходит процесс обез-

воживания осадка в естественных условиях. Характеристики жидкой фракции также имели лучшие показатели в опыте 1, она прозрачна с зеленоватым оттенком и с отсутствием плавающих твердых включений.

Таблица 3

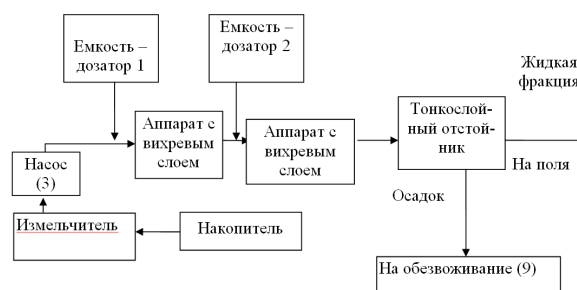
Результаты исследований эффективности применения ПОАХ различной основности

Низкоосновный ПОХА Аква-Аурат TM 14	Среднеосновный ПОХА АКВА-АУРАТ TM 18	Высокоосновный ПОХА АКВА-АУРАТ TM 30
Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
Доза 3 мг/дм ³		
Объем осадка после 5 минут отстаивания		
80	Объем осадка распределился по объему жидкости не равномерно	80
Объем осадка после 30 минут отстаивания		
50	70	45
Объем осадка после 60 минут отстаивания		
30	60	30
Описание процесса седиментации		
Разделение фракций активное Хлопья крупные Осадок рыхлый Жидкая фракция была прозрачной с зеленоватым оттенком	Интенсивность оседания хлопьев имела медленный характер Хлопья всплывали на поверхность Жидкая фракция была мутной с зеленоватым оттенком	Разделение фракций равномерное Осадок плотный Жидкая фракция была мутной с темно-зеленым оттенком
Влажность осадка, %		
96	99	97
Удельное сопротивление осадка, см/г		
$3,5 \cdot 10^5$	$13,7 \cdot 10^5$	$16,8 \cdot 10^5$

На основании проведенных экспериментальных исследований разработан способ подготовки животноводческих стоков свиноводческих хозяйств для орошения и удобрения сельскохозяйственных угодий, который включает в себя двухэтапную реагентную обработку [9]. На первом этапе жидкие отходы свиноводческих хозяйств обрабатывают подкисляющим реагентом – суспензией фосфогипса с дозой 9...35 г/дм³ до pH 6,5...7,5, а на втором вводят низкоосновный оксихлорид алюминия марки Аква-АуратTM14 в виде 5...10 % раствора с дозой 3...30 мг/дм³ по Al₂O₃. В процессе реагентной обработки формируются коллоидные частицы, которые под воздействием гравитационных сил выпадают в осадок. В качестве отстойного сооружения выбран метод тонкослойного отстаивания, что значительно сокращает время отстаивания.

Процесс отстаивания протекает в течение 20–40 минут, в результате чего смесь разделяется на прозрачную жидкую

фракцию и осадок – органическое удобрение. Получаемая жидкая фракция не требует дополнительного обеззараживания, так как в результате реагентной обработки микроорганизмы высаются вместе с коллоидными частицами в осадок.



Усовершенствованная технологическая схема подготовки животноводческих стоков для сельскохозяйственного использования

С целью обеззараживания осадок подают в аппарат вихревого слоя

с подвижными ферромагнитными частицами, в котором подводимая извне энергия локализуется в отдельных зонах, например в местах соударения ферромагнитных частиц, где удельная мощность достигает чрезвычайно больших значений. В зоне удара создаются условия для протекания таких физических и химических процессов, которые в обычных условиях затруднены или невозможны, то есть деформируется кристаллическая решетка твердых тел, приводящая к разрушению защитных оболочек микроорганизмов.

Выводы

Коагуляционная обработка животноводческих стоков по-прежнему остается наиболее ресурсосберегающим видом подготовки животноводческих стоков, позволяющая предотвратить деструкцию биогенных элементов.

Как показали результаты экспериментальных исследований, при одинаковой дозе полиоксихлорид алюминия с различной основностью наиболее высокая эффективность разделения животноводческих стоков на жидкую и твердую фракции наблюдалась при обработке низкоосновным полиоксихлоридом алюминия с торговой маркой АКВА-АУРАТ™14.

На основании полученных результатов разработан способ подготовки животноводческих стоков свиноводческих хозяйств для орошения и удобрения сельскохозяйственных угодий, который включает в себя двухэтапную реагентную обработку. На первом этапе вводят суспензию фосфогипса с дозой 9...35 г/дм³ до pH 6,5...7,5, а на втором – низкоосновный оксихлорид алюминия марки АКВА-АУРАТ™14 в виде 5...10 % раствора с дозой 3...30 мг/дм³ по Al₂O₃.

1. Губейдуллин Х. Х., Шигапов И. И., Кадырова А. М. Аэрация сточных вод в животноводческих фермах // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. – С. 114–118.

2. Ясонида О. Е. Водоснабжение при орошении: монография. – Новочеркасск.: НГМА, 2004. – 473 с.

3. Экотехнология утилизации сточных вод свинокомплексов с использованием отходов производства // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион.: техн. науки. – 2003. – № 1. – С. 67–73.

4. Бабаенко Е. Д. Очистка воды коагулянтами. – М.: Наука, 1977. – 355 с.

5. Кульский Л. А., Строкач П. П. Технология очистки природных вод. – Киев: Вища шк., 1981. – С. 150–185.

6. Николадзе Г. И., Сомов М. А. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1995. – 688 с.

7. Линевиц С. Н., Гетманцев С. В. Коагуляционный метод водообработки: теоретические основы и практическое использование. – М.: Наука, 2007. – 230 с.

8. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Гетманцев С. В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. – М.: Науч. изд., 2005. – 576 с.

9. Способ подготовки жидких отходов свиноводческих хозяйств для сельскохозяйственного использования: пат. 2424985 Российская Федерация МПК С 02 F 9/12, С 02 F 1/52 / Суржко О. А., Домашенко Ю. Е. – № 2008122872/15; заявл. 13.04.09; опубл. 20.10.10, Бюл. № 29. – 5 с.

Материал поступил в редакцию 22.10.2015.

Сведения об авторах

Домашенко Юлия Евгеньевна, кандидат технических наук, начальник отдела, ФГБНУ «РосНИИПМ»; 346421, г. Новочеркасск, проспект Баклановский 190; тел. 8(8635) 26-65-00.; e-mail: domachenko_u@list.ru.

Васильев Сергей Михайлович, доктор технических наук, доцент, заместитель директора по науке ФГБНУ «РосНИИПМ»; 346421, г. Новочеркасск, Баклановский 190; тел. 8(8635) 26-51-03; e-mail: rosniipm@yandex.ru.

YU. E. DOMASHENKO, S.M. VASILJEV

The Federal budget scientific institution

«The Russian research institute of reclamation problems», Novocherkassk

RESEARCHES ON OPTIMIZATION OF COAGULANT TREATMENT OF LIVESTOCK WASTE WATER USING OXYCHLORIDE COAGULANT FOR IRRIGATION

The purpose of this research was to identify effective reagents for clarification of livestock waste by means of individual aluminum-containing coagulants. The article presents investigations of the influence of coagulation processing on the fractionation of livestock waste. There are analyzed the main types of coagulants and flocculants used for wastewater treatment. As a test-object livestock waste of OOO «Aksai field» were selected. The experiment provided introduction of a working solution of coagulant in livestock wastewater, stirring for 3–5 minutes with subsequent sedimentation for 1 hour. The experiments were performed in standard cylinders of 100 ml volume. As shown by the experimental results, when the same dose of the oxychloride of aluminum with different basicity of the highest separation efficiency for animal waste into liquid and solid fractions were found in the of low-basin treatment of polyoxychloride aluminum with a trademark AQUA-AURATTM14. Based on the obtained results there is developed a method of preparing livestock wastewater of pig breeding farms for irrigation and fertilization of agricultural lands which includes a two-stage reagent treatment. At the first stage liquid wastes from pig breeding farms are treated by acidifying reagent – a suspension of phosphogypsum with a dose of 9...35 g/dm³ to pH 6.5...7.5, while the second is administered by low basicity of aluminum oxychloride of brand AQUA-AURATTM14 in the form of 5...10 % solution with a dose of 3 to 30 mg/dm³ on Al₂O₃. In the process of chemical treatment colloidal particles are formed which under the influence of gravitational forces precipitate. As a sedimentation structure there is chosen a method of thin-layer sedimentation which dramatically reduces the time of sedimentation.

Coagulants, solid fraction, aluminum polyoxychloride, irrigation, livestock waste, liquid fraction, fractionation.

References

1. Gubeidullin Kh. Kh., Shigapov I. I., Kadyrova A. M. Aeratsiya stochnyh vod v zhivotnovodcheskih fermah // Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaistvennoy akademii – 2012. – № 4. – S. 114–118.
2. Yasonidi O. E. Vodosnabzheniye pri oroshenii: monographiya. – Novocherkassk.: NGMA, 2004. – 473 s.
3. Ecotehnologiya utilizatsii stochnyh vod svinokompleksov s ispol'zovaniem otdodov proizvodstva // Izv. vuzov. Sev.-Kavk. Region: techn. Nauki. – 2003. – № 1. – S. 67–73.
4. Babaenko E. D. Ochistka vody koagulyantami. – M.: Nauka, 1977. – 355 s.
5. Kuljsky L. A., Strokach P. P. Tehnologiya ochistki prirodnyh vod. – Kiev: Visha shk., 1981. – S. 150–185.
6. Nikoladze G. I., Somov M. A. Vodosnabzheniye. M.: Stroyizdat, 1995. – 688 s.
7. Linevich S. N., Getmantsev S. V. Koagulyatsionny metod vodoobrabotki: teoreticheskiye osnovy I prakticheskoye

ispol'zovaniye. – M.: Nauka, 2007. – 230 s.

8. Draginsky V. L., Alexeeva L. P., Getmantsev S. V. Koagulyatsiya v tehnologii ochistki prirodnyh vod. – M.: Nauch. izd., 2005. – 576 s.

9. Sposob podgotovki zhidkih otdodov svinovodcheskih hozyaistv dlya sel'skokhozyaistvennogo ispol'zovaniya: pat. 2424985 Rossijskaya Federatsiya MPK S 02 F 9/12, S 02 F 1/52 / Surzhko O. A., Domashenko Yu. E. – № 2008122872/15; zayavl. 13.04.09; opubl. 20.10.10, Bul. № 29. – 5 s.

Received on January 22.10.2015.

Information about the authors

Domashenko Yulia Evgenjevna, candidate of technical sciences, head of the department, FSBNI «RosNIIPM»; 346421, Novocherkassk, prospect Baklanovsky, 190; tel.: 8(8635) 26-65-00.; e-mail: domachenko_u@list.ru.

Vasiljev Sergey Mikhailovich, doctor of technical sciences, associate professor, deputy director on science FSBNI «RosNIIPM»; 346421, Novocherkassk, prospect Baklanovsky, 190; tel.: 8(8635) 26-51-03; e-mail: rosniiipm@yandex.ru.

Ю. П. ЛЕОНТЬЕВ, А. А. МАКАРОВФедеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ РЫХЛЕНИЮ И ОДНОРОДНОСТИ ФРАКЦИЙ ГРУНТА ДЛЯ РЫХЛИТЕЛЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Одним из основных агротехнических приемов разуплотнения почв, улучшающих их механические свойства и структуру является глубокое рыхление без оборота пласта. Особый интерес представляет собой V-образные пассивные рабочие органы объемного типа, обладающие большой производительностью и имеющие простую конструкцию, состоящие из двух наклонных режущих стоек, соединенных в нижней части рыхлящим лемехом. Однако, известные конструкции рыхлителей имеют ряд недостатков основным из которых является неоднородное разрыхление обрабатываемого объема почвы по ширине захвата: в верхнем слое 0,2...0,25 м образуется 60...65 % фракций грунта размером более 50 мм. С целью достижения равномерности размеров фракций почвы, с преобладанием более мелких фракций, практически не требующих дополнительной обработки по измельчению, в статье приводится анализ результатов сравнительных экспериментальных исследований моделей рабочего органа объемного рыхлителя с различными видами дополнительного оборудования. Как показали исследования, в результате применения дополнительного оборудования в виде рыхлящих дисков свободно вращающихся на оси, образуется до 70...80 % фракций грунта не превышающих 30 мм при незначительном увеличении тягового усилия. Результаты исследований рыхлителей показали целесообразность применения дополнительного рабочего оборудования, позволяющего уменьшить количество крупных фракций и увеличить однородность структуры разрыхленного грунта. Экспериментальное значение тягового усилия пересчитанное на натуру по формулам физического моделирования для рыхлителя с пятью дисками составляло 27...28 кН, что позволяет использовать гусеничный трактор класса тяги 30...40 кН в качестве базовой машины.

Экспериментальные исследования, разрыхление, размеры фракций почвы, тяговое усилие, дополнительное рабочее оборудование.

Введение. Увеличение производства отечественной сельскохозяйственной продукции и кормов для животноводства возможно при комплексных мероприятиях по повышению плодородия и продуктивности земель, в том числе и ранее выбывших из сельскохозяйственного оборота. При рекультивации неиспользуемых земель необходимо проведение ряда мелиоративных мероприятий, одним из них является глубокое рыхление тяжелых почв, преобладающих в Нечерноземных регионах России.

Известные рыхлители типа РГ-0,8, РГ-1,2 с v-образной формой рабочего органа [1], осуществляющие рыхление грунта по ширине захвата без оборота пласта, отличаются простотой конструкции и большой производительностью. Однако они имеют ряд недостатков, это – большие тяговые сопротивления и неравномерность разрыхления. По результатам

исследований [2], после рыхления на поверхности образуется около 16 % фракций почвы с поперечным размером более 200 мм, что требует дополнительного измельчения. По агротехническим требованиям размер комьев почвы на поверхности не должен превышать 10...15 мм, а для заделки семян необходимо, чтобы комья размером до 25...30 мм составляли около 80 %, [3].

Материалы и методы исследования. С целью достижения равномерности размеров фракций почвы, практически не требующих дополнительной обработки по измельчению, нами предложены технические решения по совершенствованию конструкции объемных рыхлителей. На эти разработки были получены патенты [4, 5], а для общей оценки их работоспособности, достоинств и недостатков каждого и выявления особенностей рабочего процес-

са рыхления, нами были проведены экспериментальные исследования моделей предложенных рабочих органов.

Для исследований были изготовлены три варианта моделей рабочих органов рыхлителей. Масштаб моделей на основании приближенного физического моделирования был выбран 1 : 4. В качестве базовой модели был принят рабочий орган с параболическими боковыми стойками без дополнительного оборудования. Другие две модели имели дополнительные устройства для измельчения крупных фракций. Одна из них оборудована выравнивающим поперечным брусом, другая рыхлящими дисками (рис. 1).



а



б



в

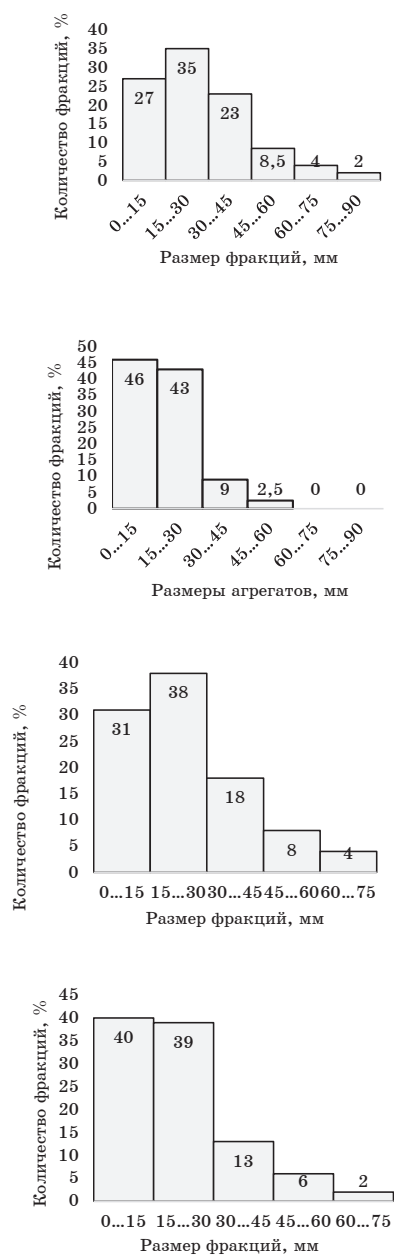
Рис. 1. Модели рабочих органов рыхлителей: а – базовая модель; б – с поперечным брусом; в – с рыхлящими дисками

Базовая модель рабочего органа объемного рыхлителя представляет собой пространственную конструкцию, состоящую из двух наклонных относительно друг друга криволинейных режущих элементов с углом резания $15...18^\circ$, жестко соединенных в нижней части лемехом с углом резания 35° . Параметры и форма рабочего органа были выбраны авторами ранее как наиболее рациональные, имеющие меньшее тяговое усилие и более однородное рыхление с преобладанием более мелких фракций грунта при разрыхлении [6]. Другая модель оборудованная поперечным рыхлящим брусом, установленным между боковыми режущими стойками в верхней части на высоте, позволяющей воздействовать на выпираемый вверх объем грунта. В результате этого образуется более однородная структура грунта по разрабатываемому объему. Третья модель оборудована рыхлящими дисками, свободно вращающимися на оси, расположенной сзади боковых стоек над полосой разрыхленного грунта. Исследовались модели с 4 и 5 рыхлящими дисками.

Исследования проводились на грунтовом канале, заполненном легким суглинком. Плотность грунта во всех опытах составляла 4 удара плотномера ДОРНИИ, влажность порядка $9...10\%$. Тяговое усилие измерялось тензометрическим методом, с регистрацией результатов на жестком диске компьютера, после каждого прохода рабочего органа измерялись размеры фракций разрыхленного грунта на длине полосы 1 м, таким образом, чтобы получить не менее 100 значений. На рисунке 2 показан грунтовый канал с моделью рабочего органа. Дополнительно были проведены экспериментальные исследования по влиянию количества рыхлящих дисков на тяговое сопротивление грунта и степень измельчения в верхнем слое.

Результаты исследований. В результате исследований получены записи усилий и диаграммы распределения фракций грунта по размерам для всех моделей рабочих органов, каждая запись была обработана при помощи программы MathCad.

В результате обработки получены такие величины, как математическое ожидание m_x , дисперсия D_x , коэффициент вариации v . Параметры, полученные для модели, были пересчитаны на натуру. Средние значения результатов обработки приведены в таблице 1.



а



б



в



г

Рис 2. Гистограммы распределения фракций грунта: а – распределение агрегатов по размерам для базового рабочего органа; б – распределение агрегатов грунта по размерам для рабочего органа с рыхлящим брусом; в – распределение агрегатов грунта по размерам для модели рабочего органа с четырьмя разрыхляющими дисками; г – распределение агрегатов грунта по размерам для модели рабочего органа с пятью разрыхляющими дисками

Таблица 2
Размеры фракций разрыхленного грунта для исследуемых моделей

Размеры фракций	Модели рабочего органа			
	1	2	3	
	С открытой поверхностью	С рыхлящим брусом	с 5 дисками	с 4 дисками
	см			
a_{cp}	2,8	2,26	2,4	2,6
a_{min}	0,7	0,3	0,3	0,5
a_{max}	9	6	6,5	7,5
$b = a_{max}/a_{min}$	12	20	22	15

Выводы

Результаты исследований рыхлителей показали целесообразность применения дополнительного рабочего оборудования, позволяющего уменьшить количество крупных фракций и увеличить однородность структуры разрыхленного грунта.

Исследования моделей рыхлителей с различными видами рабочего оборудования позволили установить, что модель с рыхлящим брусом производит рыхление с преобладанием мелких фракций (до 90 %), но тяговое усилие при этом увеличивается примерно на 40 %. Спятью рыхлящими дисками наблюдалось увеличение тягового усилия по сравнению с базовой моделью в 1,25...1,3 раза, но при этом размеры мелких фракций до 30 мм составляли порядка 78...80 %, а с 4 дисками тяговое усилие увеличивалось в 1,15...1,2 раза при уменьшении количества мелких фракций до 70 %, что достаточно по агротехническим требованиям для предпосевной обработки почвы с учетом культур предполагаемых для посева.

Экспериментальное значение тягового усилия пересчитанное на натуру по формулам физического моделирования для рыхлителя с пятью дисками составляло 27...28 кН, что позволяет использовать гусеничный трактор класса тяги 30...40 кН в качестве базовой машины (см. таблицу 1).

Библиографический список

1. Казаков В. С. Глубокие объемные рыхлители почв // Гидротехника и мелиорация. – 1982. – № 9. – С. 40–44.
2. Кизяев Б. М., Маммаев З. М., Першина О. Ф. Агромелиоративные мероприятия на переувлажненных минеральных

землях. – М.: ВНИИА, 2013. – 140 с.

3. Алексеева Ю. С., Снигирева А. В. Глубокая обработка почвы и урожай. – Л.: Лениздат, 1984. – 70 с.

4. Патент на изобретение № 2484610. Объемный мелиоративный рыхлитель / А. А. Макаров, Ю. П. Леонтьев. – Оpubл. 20.06.2013. – Бюл. 2013, № 17.

5. Патент на полезную модель № 136673. Объемный мелиоративный рыхлитель с дополнительным оборудованием / Ю. Г. Ревин, Ю. П. Леонтьев, А. А. Макаров. – Оpubл. 20.01.2014. – Бюл. 2014, № 2.

6. Леонтьев Ю. П., Макаров А. А. Экспериментальные исследования моделей рабочих органов глубокорыхлителей с различной конструкцией боковых стоек // Природообустройство. – 2013. – № 3. – С. 81–85.

Материал поступил в редакцию 15.10.2015.

Сведения об авторах

Леонтьев Юрий Петрович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Машины и оборудование природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д.44; тел. 8 (499) 976-45-13, 8(903)-127-00-16.

Макаров Александр Алексеевич, ассистент кафедры «Машины и оборудование природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д.44; тел. 8 (499) 900-60-26, 8 (909) 972 69 41.

YU. P. LEONTJEV, A. A. MAKAROV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

ASSESSMENT OF RESISTANCE TO LOOSENING AND UNIFORMITY OF SOIL FRACTIONS FOR A RIPPER WITH AN ADDITIONAL EQUIPMENT

One of the basic agro technical methods of soil decompaction improving their mechanical properties and structure is deep loosening without soil turning. V - shaped passive working elements of a volumetric type are of a particular interest, possessing a high efficiency and having a simple design, consisting of two inclined cutting legs connected by loosening plow in the lower part. However, the known designs of rippers have a number of disadvantages the main of which is a non-uniform loosening of the treated soil along the coverage width: in the upper layer 0.2...0.25 m there is formed 60...65 % of the soil fractions larger than 50 mm. With the aim of achieving the uniformity of soil size fractions with

a predominance of finer fractions which do not practically require additional processing by grinding, the article provides a comparative analysis of the results of experimental investigations of the working element of the volumetric ripper with different kinds of additional equipment. The investigations showed that usage of the additional equipment in the form of loosening disks rotating freely on the axis there are produced up to 70...80 % fractions of soil not exceeding 30 mm with a slight increase of traction effort. The investigation results of rippers showed the feasibility of usage of the additional operating equipment allowing to reduce the number of large fractions and increase the uniformity of the structure of the loosened soil. The experimental importance of the traction effort calculated on the nature according to the formulas of physical modeling for the ripper with five disks was 27...28 кН that makes it possible to use a caterpillar tractor of traction class 30...40 кН as a base machine.

Experimental research, loosening, size fractions of soil, traction effort, additional operating equipment.

References

1. **Kazakov V. S.** Glubokiye objemnye ryhliteli pochv // Hydrotehnika i melioratsiya. – 1982. – № 9. – S. 40–44.
2. **Kizyaev B. M., Mammaev Z. M., Pershina O. F.** Agromeliorativnye meropriyatya na pereuvlazhnennykh mineralnykh zemlyah. – M.: VNIIA, 2013. – 140 s.
3. **Alexeeva Yu. S., Snigiryeva A. V.** Glubokaya obrabotka pochvy i urozhay. – L.: Lenizdat, 1984. – 70 s.
4. Patent na izobreteniyе № 2484610. Objemny meliorativny ryhlitel' / A.A. Makarov, Yu. P. Leontjev. – Opubl. 20.06.2013. – Bul. 2013, № 17.
5. Patent na poleznuyu model' № 136673. Objemny meliorativny ryhlitel' s dopolnitel'nym oborudovaniem / Yu. G. Revin, Yu. P. Leontjev, A.A. Makarov. – Opubl. 20.01.2014. – Bul. 2014, № 2.
6. **Leontjev Yu. P., Makarov A.A.** Exper-

imental'nyye issledovaniya modelej rabochih organov glubokoryhlitelej s razlichnoy konstruksiey bokovyh stoek // Prirodoobustrojstvo. – 2013. – № 3. – S. 81–85.

Received on 15.10.2015.

Information about the authors

Leontjev Yuriy Petrovich, candidate of technical sciences, professor of the chair «Machinery and equipment of environmental engineering and protection in emergency situations»; FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Bolshaya Akademicheskaya, 44; tel.; 8 (499) 976-45-13, 8(903)-127-00-16.

Makarov Alexandr Alexeevich, assistant of the chair «Machinery and equipment of environmental engineering and protection in emergency situations»; FSBEI HERSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Bolshaya Akademicheskaya, 44; tel.; 8 (499) 976-45-13, 8(903)-127-00-16.

УДК 502/504:631.6.02

В. П. МАКСИМЕНКО, Е. Б. СТРЕЛЬБИЦКАЯ, А. П. СОЛОМИНА, Н. В. АЙРИЯН

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», г. Москва

ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЦИКЛИНГА НА ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГУМИДНОЙ ЗОНЫ

В статье обоснована необходимость применения рециклинга дренажных вод для регулирования влажности почв на осушаемых агроландшафтах. Представлены результаты анализа формирования водного баланса в Центральном регионе Нечерноземной зоны на основании многолетних рядов наблюдений. Определены потребность в сбросе дренажного стока в зависимости от водности периода и необходимые для аккумуляции в пределах системы объемы воды на различных уровнях обеспеченности. Разработана блок-схема факторов воздействия на качественный состав дренажного стока. Использование предлагаемой блок-схемы основных факторов, определяющих формирование и изменение состава дренажных вод осушительной сети для рекогносцировочной оценки возможной степени воздействия на которые позволит регулировать объемы и качество коллекторно-дренажных вод. Даны рекомендации по применению менее затратных и эффективных способов подготовки воды в рециклинговых технологиях гумидной зоны. В рассматриваемом регионе возможно как прямое применение дренажных вод для орошения, так и с использованием таких эффективных и наиболее распространенных способов их очистки, как аэрационный, биологический и сорбционный. Анализ формирования гидротермического режима в гумидных районах показал, что есть реальная возможность в большинстве случаев реализации рециклинговых технологий с использованием дренажного стока, формирующегося непосредственно на осушительно-увлажнительных системах. Применение рециклинговых технологий на осушительно-увлажнительных системах позволит существенно увеличить эффективность использования водных ресурсов на локальном уровне за счет уменьшения сбросов коллекторно-дренажных вод в водоприемники и снизить негативный антропогенный прессинг на них.

Гидромелиоративные системы, рециклинговые технологии, дренажный сток, улучшение качественного состава дренажных вод, способы очистки воды для повторного использования.

Введение. Многие проблемы природообустройства в растениеводческом производстве России остаются не только нерешенными и не решаются, но и с каждым годом становятся более проблемными на фоне ухудшающихся экологических условий под антропогенным «прессингом». Анализ данных Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды РФ в 2014 году» [1] показал, что ежегодный объем воды, забираемой для земледелия, лесоводства и рыбоводства, в среднем за последние 5 лет составляет 27,1 % от общего водозабора по РФ и колеблется в пределах 15604,5...16479,0 млн м³/год (табл. 1).

При этом ежегодно сбрасывается в среднем 26,5 % от забираемого объема воды на указанные выше нужды, а общий объем оборотного и повторного использования воды не превышает в среднем 3,2 % (табл. 1).

Это свидетельствует о низком уровне эффективности использования водных ресурсов в этом секторе производства и высоком уровне негативного антропогенного «прессинга» на водные объекты. Экологическая ситуация усугубляется еще и тем, что в среднем 20,3 % загрязненных сточных вод сбрасывается без очистки, только 0,6 % проходит очистку до нормативного уровня (табл. 1). Свою лепту в формирование негативной экологической ситуации в регионах интенсивного земледелия вносят производства с осушительно-увлажнительными системами, где дренажный сток, как продукт функционирования гидромелиоративных систем, является мощным антропогенным фактором мобилизации и перераспределения жидких и твердых, полезных и вредных масс в пространстве и времени.

Методология исследований. Основными

Объемы забора пресных вод для нужд сельского хозяйства, сброса сточных вод и их повторного использования в РФ, млн м³/год [1]

Объемы использования	2010	2011	2012	2013	2014	Среднее значение за 2010–2014 гг.
Общий объем забора пресных вод:	63805,3	60347,4	58799,	56785,9	57826,7	59512,9
забор воды для земледелия*	16479,0	16458,4	16084,2	15604,5	16019,2	16129,1
% от общего объема забора пресных вод	25,8	27,3	27,4	27,5	27,7	27,1
2. Объем сточных вод в земледелии*:	5078,1	4623,0	3986,4	3620,4	4073,9	4276,4
от объема воды, забираемой для земледелия*	30,8	28,1	24,8	23,2	25,4	26,5
3. Объем загрязненных сточных вод, сброшенных без очистки в земледелии*:	887,4	910,3	867,0	836,9	798,7	860,1
% от общего объема стоков	17,48	19,69	21,75	23,12	19,6	20,3
4. Сброшено нормативно-очищенной на сооружениях очистки воды в земледелии*:	19,7	21,0	29,9	28,9	31,2	26,1
% от общего объема стоков	0,39	0,45	0,75	0,80	0,77	0,6
5. Общий объем оборотного и повторного использования воды в земледелии*:	459,8	541,6	510,6	488,3	564,1	512,9
% от объема воды, забираемой для земледелия*	2,79	3,29	3,17	3,13	3,52	3,2

* Совместно с лесоводством и рыбоводством

компонентами методической базы данной работы явились:

принцип зависимости плодородия почв, урожайности и качества сельскохозяйственной продукции от химического состава, содержания загрязняющих веществ в поливной воде и принцип направленного формирования химического состава и свойств вод, используемых для увлажнения почвы;

информационно-аналитические методы исследования, включающие обобщение, структуризацию и комплексный анализ теоретической, научно-технической и патентной информации по вопросам нормирования и регулирования качественного состава поливных вод.

Результаты и обсуждения. В сложившейся ситуации последних лет для решения вопросов, связанных с созданием устойчивых агроландшафтов на осушаемых землях, необходима новая парадигма, новые подходы и технические решения, направленные на предотвращение загрязнения природных водоемов дренажным стоком и на повышение эффективности использования водных ресурсов, формирующихся на локальном уровне в пределах осушительной системы.

Для ее обоснования в первую очередь нужна доступная и достоверная (или с заданным уровнем достоверности) информация о формировании водного баланса на осваиваемых землях. С этой целью по многолетним рядам наблюдений (более 46 лет) нами выполнен анализ формирования водного баланса в Центральном регионе Нечерноземной

зоны (метеостанция г. Дмитров). Получены биномиальные кривые распределения (кривые Пирсона III типа) дефицитов испаряемости с заданной вероятностью (1...99 %) за холодный период (X–III месяцы), гидрологический год (X–IX месяцы) и вегетационный период (IV–IX месяцы) (рис. 1).

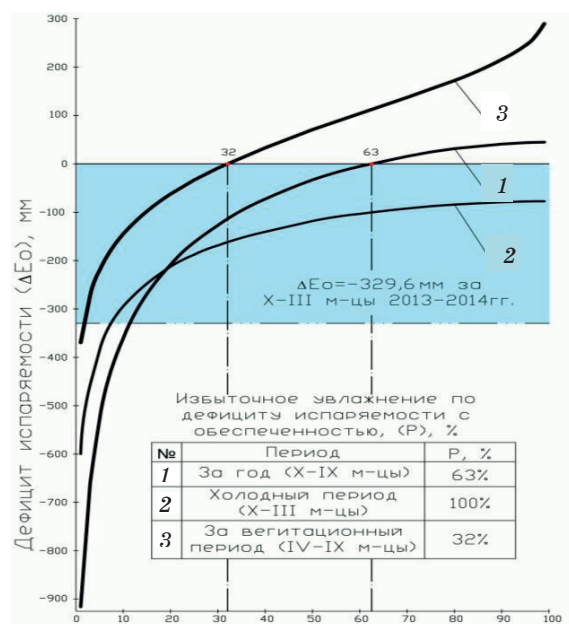


Рис. 1. Вероятностные кривые распределения дефицитов испаряемости (мм): 1 – за гидрологический год; 2 – холодный период; 3 – вегетационный период

Анализ полученных данных и результатов предыдущих исследований показал, что существующие осушительные системы и реконструированные под двухстороннее регулирование влажности почвы далеки от совершенства, которое

в определенной степени закреплено нормативными документами [2, 3], поскольку недостаточно гибко рекомендуют учитывать напряженность гидротермического режима, формирующегося в холодный и летний периоды, а также продолжительность засушливых периодов. Допускается в периоды наибольшей потребности растений в орошении забор воды из водоприемника, в то время как потребный объем дренажных вод был сброшен за пределы осушаемого массива в предыдущий период, что ложится дополнительными затратами на себестоимость продукции. Например, нормативными документами предусматривается осушение пашни на гидромелиоративной системе из возможностей приступить к весенним полевым работам, в связи с этим избыток воды должен быть отведен за пределы системы. Анализ многолетних данных показал, что в зависимости от водности периода потребность в сбросе воды составляет на 1 % уровне обеспеченности около 6100 м³/га, на 10 % – 3000 м³/га, на 25 % – 1920 м³/га и на 50 % – 1210 м³/га (рис. 1, кривая 2). Если проанализировать кривую 3 (рис. 1), отражающую дефицит испаряемости или потребность в дополнительном увлажнении в период вегетации растений, то необходимо аккумулировать следующие объемы воды в пределах системы: на уровне 99 % обеспеченности – 2930 м³/га; 90 % – 2200 м³/га; 75 % – 1580 м³/га и на уровне 50 % обеспеченности – 740 м³/га.

Таким образом, нецелесообразный сброс дренажной воды составляет в относительных значениях – 108, 36, 22 и 64 %. На практике, как правило, эта нецелесообразность в засушливый период покрывается организацией встречного потока воды из природного водоприемника на осушаемый массив.

Отсутствие в нормативных документах критериев по вероятностному обеспечению растениеводческого производства водными ресурсами в складывающихся погодных условиях конкретного года в пределах осушительной системы не обеспечивает товаропроизводителя гарантированным производством продукции и не страхует производство от возможного отклонения погодных условий от проектной обеспеченности. Это отражается на низком уровне использования климати-

ческого потенциала региона и соответствующей продуктивности сельскохозяйственных угодий.

С учетом изложенного дальнейшее совершенствование осушительно-увлажнительных систем должно идти по пути более широкого применения рециклинга дренажных вод для гарантированного обеспечения товаропроизводителя водными ресурсами с заданной обеспеченностью.

Повторное использование дренажных вод без предварительной подготовки возможно лишь в отдельных случаях, когда их общая минерализация и содержание в них загрязняющих компонентов не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК). Однако в большинстве случаев дренажные воды нуждаются в предварительной подготовке, поскольку могут содержать различные загрязнения в виде биогенных веществ, остатков минеральных удобрений, органических соединений, фенолов, пестицидов и тяжелых металлов, поэтому в процессе накопления и перед повторным использованием на орошение они должны подвергаться механической, химической или биологической очистке.

Необходимо учитывать, что концентрации и характер распределения веществ в дренажном стоке подвержены сезонным изменениям. Для торфяных почв наиболее вероятно превышение ПДК аммиачным азотом, калием, магнием, сульфатами, хлоридами, натрием и органическим веществом – летом; железом и кальцием – осенью [4]. Для дерново-подзолистых почв характерны максимальные концентрации фактически всех ингредиентов дренажного стока для периода осень–зима. В большинстве случаев дренажный сток в конце половодья более минерализован, чем в его начале, когда в дренаж поступают воды, фильтрация которых происходит по оттаявшей почве [5].

Разработка мероприятий по улучшению качества дренажных вод должна основываться на оценке объемов и гидрохимических характеристик дренажного стока мелиоративных систем и факторов, обуславливающих его формирование. Нами проанализированы и систематизированы основные факторы, определяющие формирование и изменение состава дренажных вод осушительной сети,

воздействием на которые возможно и качеством, результаты представлены в виде блок-схемы (рис. 2).

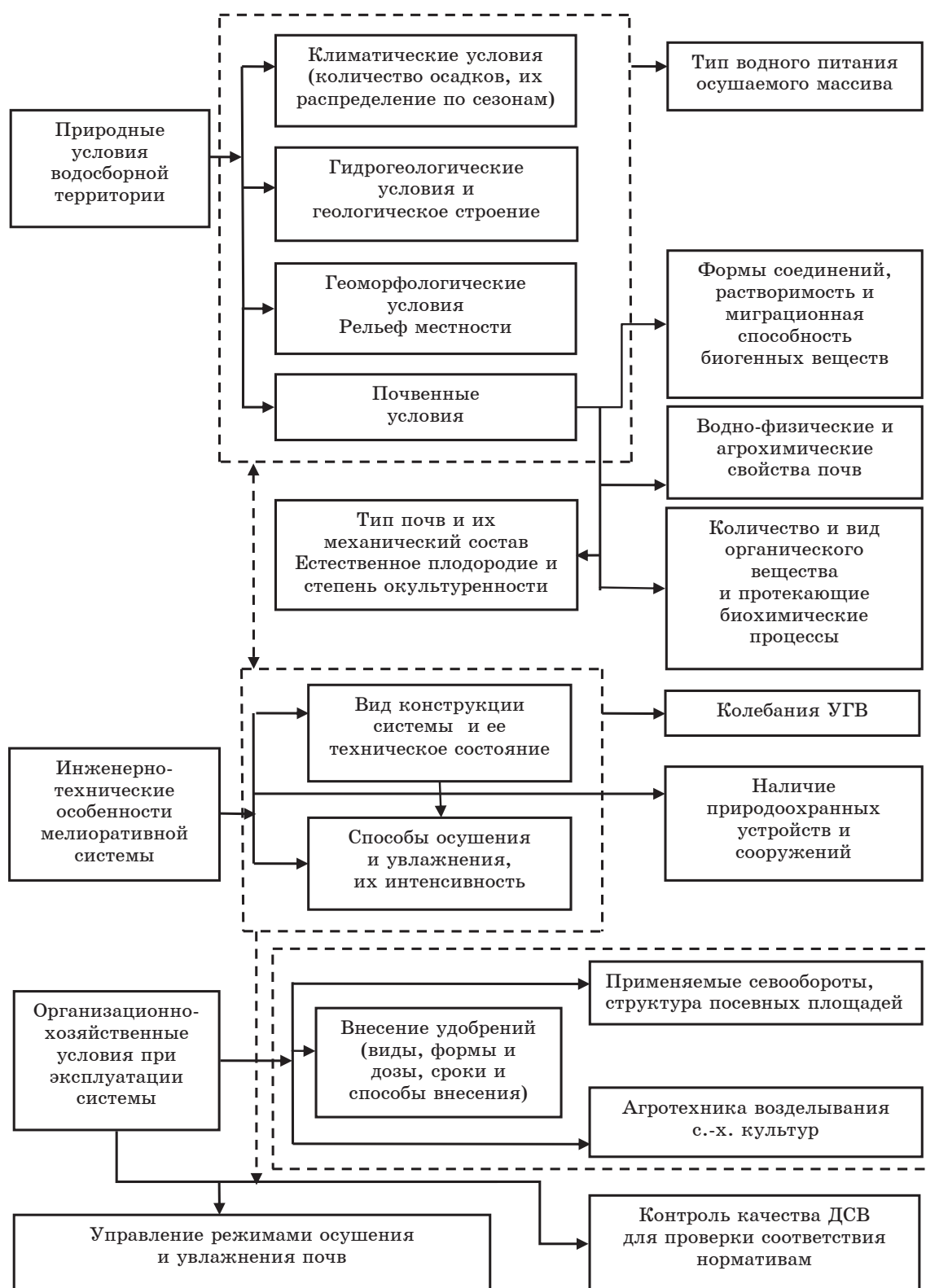


Рис. 2. Факторы, определяющие объемы и качественный состав дренажных вод осушительной сети

Воздействие факторов формирования расположить в следующем убывающем на качество дренажного стока в порядке [6]: количество выпадающих Нечерноземной зоне России можно осадков (и их распределение по

сезонам) и интенсивность орошения при двустороннем регулировании водного режима > гранулометрический состав почвы > дозы, формы и сроки внесения удобрений > характер использования почвы > особенности выращиваемой культуры.

При выборе способа регулирования качественного состава дренажных вод следует ориентироваться на объем, динамику химического состава и степень загрязнения воды, руководствуясь при этом следующими положениями:

учитывать как гидрологические особенности мелиоративной системы и водосбора в целом, так и особенности формирования гидрохимического состава дренажно-сбросных вод;

отвечать принципам экосистемного подхода, в соответствии с которым рассматривать мелиорируемую территорию как единую целостную систему, состоящую из взаимосвязанных блоков (почвы, вода, факторы влияния на качество вод и др.), соединяющихся по признаку причинно-следственных связей;

использовать комплексность и согласованность различных мероприятий, осуществляемых на водосборах для достижения лучших результатов;

основываться на предварительных расчетах и анализе многолетних результатов мониторинга, учитывая результаты используемых методов на других объектах.

В связи с тем, что дренажный сток рассредоточен на больших площадях, имеет место формирование его переменного объема и химического состава. Многими авторами [7] указывается на целесообразность регулировать его состав в небольших объемах в местах формирования. Рекомендуются создавать локальные водоборотные системы на небольших участках 10...100 га с регулированием объема и качества дренажных вод, используемых на орошение, при помощи технологических узлов по очистке от загрязняющих компонентов.

Технологические схемы и приемы обработки и улучшения качества дренажных вод перед их повторным использованием корректируется в процессе привязки к конкретным условиям. В связи с тем, что дренажные воды осушительных систем в гумидной зоне не являются

сильноминерализованными, предпочтительными мерами улучшения их качественного состава для целей увлажнения (повторного использования) следует считать аэрацию, биологический и сорбционный методы очистки.

Повышение уровня кислородного насыщения приводит к созданию окислительных условий во всех горизонтах водной толщи: исчезает сероводород, ускоряются процессы минерализации органических соединений, падает содержание ионов аммония, фосфора, железа, марганца, общего органического углерода. Внедрение аэрационных систем повышает эффективность очистки от органических загрязнений на 5...10 % и соединений аммонийного азота на 30...40 % [8].

Аэрацию дренажных вод необходимо проводить при накоплении стока в прудах-накопителях перед последующим использованием на орошение. Окислению органических соединений и усилению обменных процессов способствует использование в конструкциях дренажных систем перепадных и аэрирующих устройств, рассеянных водовыпусков, усиливающих перемешиваемость водного потока и насыщающих воду кислородом. Снижение концентрации биогенных элементов в дренажном стоке на 30...70 % [9] достигается с помощью его аэрации и равномерного внутрипочвенного рассеивания в корнеобитаемом слое травянистого откоса осушительных каналов или берегах водоприемников. Аэрация вод, дегазация от летучих соединений, окисление токсичного Fe^{2+} и других экологически вредных соединений обеспечивается при помощи конусного рассекателя струи в устье дренажного коллектора [10].

Основным атрибутом осушительно-увлажнительных систем должны стать технические решения по применению биологических методов очистки, основанных на способности фитоценозов высшей водной растительности, организмов планктона, бентоса и бактерий в процессе жизнедеятельности поглощать, де-структурировать и аккумулировать загрязняющие вещества. Основными видами культивируемых прибрежных растений должны быть тростник, рогоз, камыш и манник, погруженных растений – рдест,

элодея, роголистник, уруть. К числу сооружений этого направления относятся биологические каналы, пруды (в том числе при каскадном их расположении), фитофльтрационные устройства, ботанические площадки и биоплато, представляющие специально созданное экологическое сообщество водной растительности.

Например, очистка загрязненных дренажных вод с помощью мелиоративного биоканала [11], в котором основными культивируемыми растениями являются рогоз узколистый, тростник и осоковые, обеспечивается поддержанием определенных условий пропуск расхода воды: минимальные скорости воды в межень период должны составлять до 0,4 м/с, в период летне-осеннего паводка – до 0,6 м/с. Наилучшие результаты при этих условиях обеспечиваются по очистке воды от минеральных форм азота (до 92,6 % по NO_3^- и 93,8 % по NH_4^+) и фосфора (88,2 %).

Главными преимуществами сорбционной очистки дренажных вод являются возможность направленного удаления загрязнений чрезвычайно широкой природы, в том числе солей тяжелых металлов, фенолов и очистка воды от загрязнений практически до любой остаточной концентрации независимо от их химической устойчивости.

В качестве сорбционных фильтров могут быть применены натуральные и искусственные материалы: природный цеолит, сапропель и обуглероженная льняная костра; войлок из синтетического волокна при скорости фильтрации 0,2...0,5 м/час; биотекстиль, глауконитовый песок и шлаки; ионообменные смолы и другие микропористые материалы. Природные или модифицированные сорбенты в гранулированном виде рекомендуется помещать в специальные кассеты, которые устанавливаются в накопителе дренажного стока [7]. Сорбционно-фильтрующие узлы следует размещать непосредственно в дрене, а также на трассе открытого дренажного канала, в концевой его части или перед отбором воды для полива.

Способы и технологии направленного регулирования (улучшения) качественного состава дренажных вод, компоновка и размещение технологических узлов очистки дренажного стока могут быть

различными. Комплексное использование различных методов очистки в технологиях регулирования качества дренажных вод и специальные сооружения и устройства в составе мелиоративной системы создает предпосылки безопасного внутрисистемного повторного использования дренажных вод для орошения.

Выводы

Анализ формирования гидротермического режима в гумидных районах показал, что есть реальная возможность в большинстве случаев реализации рециклинговых технологий с использованием дренажного стока, формирующегося непосредственно на осушительно-увлажнительных системах.

Применение рециклинговых технологий на осушительно-увлажнительных системах позволит существенно увеличить эффективность использования водных ресурсов на локальном уровне за счет уменьшения сбросов коллекторно-дренажных вод в водоприемники и снизить негативный антропогенный прессинг на них.

Использование предлагаемой блок-схемы основных факторов, определяющих формирование и изменение состава дренажных вод осушительной сети, для рекогносцировочной оценки возможной степени воздействия на которые позволит регулировать объемы и качество коллекторно-дренажных вод.

В рассматриваемом регионе возможно как прямое применение дренажных вод для орошения, так и с использованием таких эффективных и наиболее распространенных способов их очистки, как аэрационный, биологический и сорбционный.

Библиографический список

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru/online/detail.php?ID=141663> (Дата обращения 20.07.2015).
2. Мелиоративные системы и сооружения. СНИП 2.06.03-85, Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя, 1986. – 60 с.
3. СТО НОСТРОЙ 2.33.21-2011 «Мелиоративные системы и сооружения». Часть 2. Осушительные системы. Общие требования по проектированию и строительству. Издание официальное.

– Москва: ФГБНУ «РосНИИПМ», ООО Издательство «БСТ», 2012. – 60 с.

4. Охрана водоприемников от загрязнения стоком с осушаемых земель / П. К. Кузьмич, Р. М. Максименко, А. Г. Зозулевич // Гидротехника и мелиорация. – 1984. – № 12. – С. 71–74.

5. Панов Е. П. Влияние осушительных мелиораций на природные воды // Мелиорация и водное хозяйство. – 1998. – № 6. – С. 27–30.

6. Потери питательных веществ из почвы и внесенных удобрений вследствие вымывания / А. В. Петербургский, В. П. Никитишен, В. П. Шабаев // Агрохимия. – 1976. – № 7. – С. 144–156.

7. Кирейчева Л. В. Повторное использование дренажного стока для локальных участков орошения [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.eecca-water.net/content/view/501/52/lang,ru/> (Дата обращения 22.04.2010).

8. Мешенгиссер Ю. М. Теоретическое обоснование и разработка новых полимерных аэраторов для биологической очистки сточных вод: дисс. ... д-ра техн. наук. – М, ФГУП «НИИ ВОДГЕО», 2005.

9. Трифонов В. А. Вынос химических веществ дренажным стоком с осушаемых пойменных почв и его регулирование: дисс. ... канд. техн. наук. – М.: ВНИИГиМ, 1989. – 329 с.

10. Устье дренажного коллектора / И. С. Сорока // А.с. СССР № 1761861; А1, МПК⁵, Е02В 11/00: ВНПО по гидротехнике и мелиорации земель в Украинской ССР и Молдавской ССР. – Опубликовано 15.09.1992. – БИ № 34.

11. Способ очистки сточных, загрязнен-

ных поверхностных и дренажных вод, а также устройство для его осуществления [Текст] / М. Г. Голченко, В. С. Брезгунов, В. И. Желязко, Н. Н. Михальченко, Ю. А. Мажайский // Патент РФ № 2092455; С1. МПК⁶ C02F3/32: Мещерский филиал ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова. – Опубликовано 30.09.1997. – БИ № 28.

Материал поступил в редакцию 23.12.2015.

Сведения об авторах

Максименко Владимир Пантелеевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом мелиорации земель; ФГБНУ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44; корп. 2; тел. 8 (499)153-63-80; e-mail: maksymenko@mail.ru.

Стрельбицкая Елена Брониславовна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник; ФГБНУ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44 корп. 2; тел. 8 (499)153-92-08, 8-916-080-78-37; e-mail: trelbitskaya.elena@gmail.com.

Соломина Антонина Павловна, старший научный сотрудник; ФГБНУ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44 корп. 2; тел. 8 (499)153-92-08.

Айриян Нелли Владимировна, научный сотрудник ФГБНУ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44. корп. 2; тел. 8 (499)153-92-08.

V. P. MAXIMENKO, E. B. STRELJBITSKAYA, A. P. SOLOMINA, N. V. AIRIYAN

The Federal state budget scientific institution

«The All-Russian research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A. N. Kostyakov», Moscow

POSSIBILITY OF IMPLEMENTATION OF RECYCLING ON DRYING-HUMIDIFYING SYSTEMS OF THE DAMP AREA

In the article there is justified the necessity of usage of drainage water recycling for regulation of soils humidity on the drained agro landscapes. There are given results of the analysis of water balance formation in the Central region of the Non-black soil area on the basis of long-term series of observations. There is determined the necessity in drainage effluent discharge depending on the water content of the period and necessary for accumulation of water volumes in the range of the system on different provision levels. The flow chart of impact factors on the qualitative composition of drainage effluent is developed. Usage of the proposed flow chart of the basic factors defining formation and change of the drainage water composition of the drainage system for the reconnaissance assessment of the possible degree of impact on them will allow regulating volumes and quality of collecting-drainage water. There are given recommendations on usage of a less expensive and efficient

means of water preparation in recycling technologies of the damp area. In the region under consideration there is possible both direct use of drainage water for irrigation and with usage of such effective and most widely used methods of their treatment as aeration, biological and sorption. The analysis of formation of a hydrothermal mode in damp regions showed that there is a real possibility in most cases of realization of recycling technologies using a drainage effluent which is formed on drainage-humidifying systems. Usage of recycling technologies on drainage-humidifying systems will allow significantly raise the efficiency of water resources usage on the local level due to reducing discharges of collecting-drainage water into water intakes and decrease a negative anthropogenic pressing on them.

Hydro land reclamation systems, recycling technologies, drainage runoff, improvement of the qualitative composition of drainage water, methods of water treatment for a reuse.

References

1. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchey sredy Rossijskoy Federatsii v 2014 godu» [Electronny resurs]. – URL: <http://www.mnr.gov.ru/online/detail.php?ID=141663> (Data obrashcheniya 20.07.2015).
2. Meliorativnye sistemy i sooruzheniya SNiP 2.06.03-85, Gosstroy SSSR. – M.: TSITP Gosstroya, 1986. – 60 s.
3. STO NOSSTROY 2.33.21-2011 «Meliorativnye sistemy i sooruzheniya». Chastj 2. Oushitelnye sistemy. Obshchiye trebovaniya po proektirovaniyu i stroiteljstvu. Izdaniye ofitsialnoye. – Moscow: FSBNU «RosNIIPM», OOO Izdateljstvo «BST», 2012. – 60 s.
4. Ohrana vodopriemnikov ot zagryazneniya stokom s osushaemyh zemelj / P. K. Kuzjmich, P. M. Maximenko, A. G. Zozulevich // Hydrotehnika i melioratsiya. – 1984. – № 12. – S. 71–74.
5. Panov E. P. Vliyaniye osushitelnyh melioratsiy na prirodnye vody // Melioratsiya i vodnoye hozyaistvo. – 1998. – № 6. – S. 27–30.
6. Poteri pitatelnyh veshchestv iz pochvy i vnesennyh udobrenij vsledstviye vymyvaniya / A. V. Peterburgsky, V. P. Nikitishen, V. P. Shabaev // Agrokhimiya. – 1976. – № 7. – S. 144–156.
7. Kireicheva L. V. Povtornoye ispolzovaniye drenazhnogo stoka dlya lokalnyh uchastkov orosheniya [Electronny resurs]. – URL: <http://www.eecca-water.net/content/view/501/52/lang,ru/> (Data obrashcheniya 22.04.2010).
8. Meshengisser Yu. M. Teoreticheskoye obosnovaniye razrabotka novyh polimernyh aeratorov dlya biologicheskoy ochistki stochnykh vod: diss. d-ra tech. nauk. – M., FGUP «NII VODGEO», 2005.
9. Trifonov V. A. Vynos himicheskikh veshchestv drenazhnym stokom s osushaemyh poimennyh pochv i ego

regulirovaniye: diss. d-ra tech. nauk. – M., VNIIGiM, 1989. – 329 s.

10. Ustje drenazhnogo collector / I.S. Soroka // A. s. SSSR № 1761861; A1, MPK⁵, E02V 11/00: VNPO po gidrotehnike i melioratsii zemelj v Ukrainskoy SSR i Moldavskoy SSR. – Opublikovano 15.09.1992. – BI № 34.

11. Sposob ochistki stochnykh, zagryaznennykh poverhnostnykh i dranazhyh vod, a takzhe ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya [Text] / M. G. Golchenko, V. S. Brezgunov, V. I. Zhelyazko, N. N. Mikhajchenko, Yu. A. Mazhaisky // Patent RF C1. MPK⁶ C02F3/32: Meshchersky filial VNII gidrotehniki i melioratsii im. A. N. Kostyakova. – Opublikovan 30.09.1997. – BI № 28.

Received on 23.12.2015.

Information about the authors

Maximenko Vladimir Panteleevich, doctor of agricultural sciences, chief researcher, head of the lands department; FGBNI VNIIGiM named after A. N. Kostyakov; 127550, Moscow, ul. Bolshaya Akademicheskaya, 44, kor. 2; tel.: 8 (499)153-63-80; e-mail: maksymenko@mail.ru.

Strelbitskaya Elena Bronislavovna, candidate of biological sciences, leading researcher; FGBNI VNIIGiM named after A. N. Kostyakov; 127550, Moscow, ul. Bolshaya Akademicheskaya, 44, kor. 2; tel.: 8 (499)153-92-08; e-mail: trelbitskaya.elena@gmail.com.

Solomina Antonina Pavlovna, senior researcher; FGBNI VNIIGiM named after A. N. Kostyakov; 127550, Moscow, ul. Bolshaya Akademicheskaya, 44, kor. 2; tel.: 8 (499)153-92-08

Airiyan Nelli Vladimirovna, researcher; FGBNI VNIIGiM named after A. N. Kostyakov; 127550, Moscow, ul. Bolshaya Akademicheskaya, 44, kor. 2; tel.: 8 (499)153-92-08.

УДК 502/504 : 338.43 : 628.3

Е. В. МАРГОЛИНАФедеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ УМЕНЬШЕНИЯ СБРОСОВ ЗАГРЯЗНЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Целью статьи является обоснование рекомендаций по совершенствованию экономических механизмов стимулирования уменьшения сбросов загрязненных сточных вод в водоемы. Выполненный автором анализ показал, что существующие подходы к решению этой проблемы имеют целый ряд органически присущих им недостатков, включающих, прежде всего, заниженные ставки рассматриваемых платежей и их относительно низкую собираемость. В числе предлагаемых инструментов регулирования рассмотрены повышение качества мониторинга состояния окружающей среды, способствующее росту репрезентативности определения размеров платежей; оптимизация размеров платежей с точки зрения их влияния на основные показатели хозяйственной деятельности; создание специализированных факторинговых компаний с целью оптимального управления задолженностью предприятий перед государством по платежам за использование природных ресурсов. Важное значение имеет и совершенствование экономического механизма стимулирования сокращения поступления промышленных стоков на городские коммунальные очистные станции на основе введения дифференцированной платы за сброс сточных вод. При этом содержательной основой такой дифференциации является всесторонний учет объемов и характера сбрасываемых веществ. В статье также показано, что часть собранных средств может быть аккумулирована в специальном фонде для последующего использования при строительстве локальных очистных станций, ориентированных на очистку стоков для данного предприятия или групп предприятий и проведения восстановительных работ в бассейнах тех рек, в которые поступают сбросы с предприятий плательщиков денежных средств. Рассмотренный механизм позволяет получить дополнительные финансовые ресурсы для снижения антропогенной нагрузки на водоемы, обусловленной сбросом загрязненных сточных вод.

Платежи за сбросы загрязняющих веществ, собираемость платежей, факторинг, дифференцированная плата за сброс сточных вод.

Введение. По данным Росстата сброс загрязненных сточных вод в водоемы Российской Федерации в течение двадцати последних лет в период с 1995 по 2014 год сократился с 59,9 до 43,9 млрд м³ (то есть на 26,7%¹). При этом, увеличение соответствующих объемов в 2014 году по сравнению с 2013 годом на 1 млрд м³ обусловлено включением в статистическую информацию данных по Крымскому федеральному округу. При поверхностном рассмотрении отмеченная тенденция выглядит весьма обнадеживающе, но, тем не менее, не снижает актуальности научно обоснованного решения проблемы снижения поступления загрязняющих веществ со сточными водами в российские водоемы, по сути дела означающей уменьшение антропогенной нагрузки

на окружающую природную среду.

Очевидно, что такое решение базируется на поиске оптимального сочетания административных и экономических методов регулирования. В настоящей статье автор сосредоточил свое внимание на совершенствовании механизмов экономического стимулирования сбросов загрязненных вод.

Материалы и методы исследования. При подготовке настоящей статьи использованы результаты исследований различных авторов, в которых показано, что сокращение объемов сбросов загрязняющих веществ со стороны промышленных предприятий непосредственно в открытые водоемы возможно за счет строительства локальных очистных станций, внедрения систем оборотного водоснабжения, изменения технологий производства, в пользу применения малоотходных технологий (подробнее об этом см. [1–5]).

1. http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment/.

Экономическим механизмом стимулирования промышленных предприятий к сокращению сбросов в открытые водоемы являются платежи за сбросы загрязняющих веществ, рассчитываемые в соответствии с существующими инструктивно-методическими указаниями. С формальной точки зрения вопрос об экономическом регулировании сбросов загрязняющих веществ в открытые водоемы решен. Однако на сегодняшний день существует значительный комплекс проблем, связанный с низкой эффективностью этого вида платежей. Основные проблемы обусловлены:

1. Низкими базовыми ставками платы за сброс 1 тонны загрязняющих веществ. Показательно, что базовые ставки платежей разрабатывались в конце 80-х годов и в дальнейшем неоднократно корректировались с учетом инфляции. Однако, подобная корректировка так и не смогла решить вопрос, связанный с обесценением стимулирующей функции этого вида платежей;

2. Недостаточной собираемостью платежей. Сложное финансовое состояние многих предприятий приводило и приводит к накоплению задолженности предприятий по экологическим платежам, включая и за сбросы загрязняющих веществ в водоемы. В условиях обостряющегося кризиса в некоторых регионах от плановых сумм поступлений удается собрать лишь порядка 30...40 %. Уменьшение платежей происходит не только в виде отказа от уплаты средств или ее задержки, но и за счет необоснованного списания части платежей в счет ранее выполненных природоохранных работ. Сам по себе механизм корректировки размеров платежей, при котором размер платы предприятия может уменьшаться на сумму, затраченную на проведение природоохранных программ, несомненно, является положительным элементом, поскольку в условиях жесткой финансовой дисциплины может способствовать росту инвестиций в природоохранные программы. Но, при значительных объемах таких списаний он может давать и дает противоположный эффект. В любом случае, необходимо обеспечение соответствия разрабатываемых рекомендаций нормам экологического права (в синтезированном виде представлены в [6]) и проведение процедуры оценки планируемых регули-

рующих воздействий (см. например, [7]), позволяющей соотнести ожидаемые затраты и выгоды корректировки размеров рассматриваемых платежей. Один из возможных подходов может также состоять в привлечении инвестиционных ресурсов так называемого бюджета развития [8] для реализации проектов, обеспечивающих снижение сбросов загрязняющих веществ.

Очевидных и простых механизмов нормализации ситуации с недостаточным объемом поступлений платежей за сброс загрязняющих веществ в открытые водоемы на сегодняшний день нет. Увеличение размеров платежей не дает положительного эффекта в силу сложного финансового состояния предприятий и «вторичности», невысокой значимости экологической проблемы для многих руководителей предприятий. В настоящей статье рассматриваются возможные пути преодоления сложившейся весьма непростой ситуации.

Результаты исследований и их обсуждение. Можно назвать два направления совершенствования действующей системы платежей. Первое - укрепление платежной дисциплины. Речь должна идти не столько о безакцептном списании начисленных платежей со счетов предприятий², сколько об изменении отношения к экологическим платежам со стороны руководителей предприятий, повышении достоверности исходной информации, используемой для расчетов платежей, внедрении схем реструктуризации задолженности по ранее начисленным платежам.

Следует учитывать, что проблема достоверности исходной информации, используемой для расчетов платежей, по сути дела является одной из принципиально важных и не полностью решенных. В настоящее время платежи за сбросы загрязняющих веществ рассчитываются на основе информации, содержащейся в утвержденных формах отчетности, которые заполняются балансовым методом самими предприятиями-плательщиками, исходя из информации об объемах выпуска продукции, объемах использовавшегося сырья, данных о нормативах выбросов

2. Эта популярная идея не может быть реализована практически, поскольку государство не имеет преимуществ перед другими кредиторами предприятия.

загрязняющих веществ. Только на крупных предприятиях, имеющих собственные санитарно-гигиенические лаборатории, данные, полученные балансовым путем, подтверждаются лабораторной проверкой. Межрайонные инспекции, осуществляющие контроль за состоянием окружающей среды, проводят периодический контроль сбросов. Таким образом, у предприятий-плательщиков в принципе имеются достаточно широкие возможности для искажения исходной информации с целью занижения размеров платежей. Выходом из этой ситуации является совершенствование системы мониторинга состояния окружающей среды, укрепление материально-технической базы природоохранных органов. Однако это требует дополнительных финансовых ресурсов.

Второе направление, связанное с совершенствованием системы платежей, связано с оптимизацией размеров платежей с точки зрения их влияния на основные показатели хозяйственной деятельности. Считается, что платежи за загрязнение будут эффективными в том случае, если при неблагоприятном развитии событий, когда предприятие оказывает существенное негативное влияние на состояние окружающей среды, через систему экологических платежей у предприятия изымается от 5 до 10 % балансовой прибыли. В этом случае, с одной стороны, у предприятия появляются значительные финансовые стимулы к сокращению сбросов загрязняющих веществ, с другой стороны, остаются финансовые ресурсы для развития.

Один из возможных подходов к решению проблемы собираемости платежей за сброс загрязненных сточных вод видится в создании специализированных факторинговых компаний с целью оптимального управления задолженностью предприятий перед государством по платежам за использование природных ресурсов. Прямое внесение долгов по таким платежам в уставной капитал факторинговой компании малопривлекательно, однако переоформление задолженности в эквивалентные пакеты акций предприятий-должников может создать условия для эффективной работы с ними со стороны ее персонала. Факторинговая компания может получать прибыль различными способами:

путем оказания содействия пред-

приятию в проведении маркетинговых исследований по поиску платежеспособных потребителей производимой им продукции, что должно улучшить его финансовое положение и позволить погасить имеющуюся задолженность по платежам за сброс загрязненных вод (факторинговая фирма в этом случае получит комиссионные);

путем выгодного размещения акций предприятий на фондовом рынке или среди потенциальных стратегических инвесторов;

при наличии относительно крупного пакета акций и возможности влияния на хозяйственно-оперативную деятельность предприятий – путем совершенствования управления и повышения эффективности финансового менеджмента.

Представляется, что прибыль такой факторинговой компании следовало бы освободить от налогообложения (в первую очередь – от региональных налогов), а схему ее распределения сделать максимально прозрачной и двухканальной. Одна ее заранее определенная в уставе часть должна перечисляться на пополнение ресурсов региональных экологических фондов, а другая оставаться в поощрительных целях в самой компании. Тогда усилия компании будут сосредоточены на увеличении прибыли, что позволяет достичь органичного единства ее интересов с государственными.

Не меньшее значение имеет и стимулирование сокращения загрязнения подземных вод. До 50 % водопроводов с водозабором воды из поверхностных водных источников, обеспечивающих 2/3 водопотребителей в городах и поселках городского типа, не имеют необходимого комплекса очистных сооружений для обеззараживания и очистки воды; по многим водозаборах не соблюдается режим санитарной охраны. Это приводит к несоответствию качества воды, подаваемой населению, санитарно-гигиеническим требованиям и ставит вопрос о необходимости более широкого использования подземных водных источников для обеспечения водой населения. Одним из вариантов улучшения качества в водоснабжении населения является более широкое использование подземных водоисточников. Однако, это требует изменения не только схем подачи воды,

но и проведения дополнительных мероприятий по улучшению качества подземных вод. В частности, для защиты подземных вод от загрязнения одним из экономических механизмов данной проблемы может быть введение платежей за загрязнение почв и более широкое использование платежей за загрязнение подземных водных источников.

В настоящее время механизмы взимания платежей за загрязнение почв недостаточно отработаны. По мнению автора статьи, платежи за загрязнение почв целесообразно вводить для ограниченного круга крупных предприятий, оказывающих значительное негативное влияние на состояние окружающей среды и подземных вод в частности. В данном случае целесообразен отказ от широкого охвата платежами предприятий и концентрации усилий на регулировании деятельности наиболее крупных загрязнителей, о деятельности которых возможно получить достоверные данные. Размеры платежей могут устанавливаться в зависимости от площади и степени загрязнения пораженных территорий. Исходные базовые нормативы платы могут рассчитываться, исходя из затрат на рекультивацию земель и размеров ущерба, наносимого подземным водным горизонтам.

Полученные средства в дальнейшем должны использоваться для финансирования работ по восстановлению почвы и других природоохранных мероприятий, способных косвенным образом снизить загрязнение почв и подземных вод. Практику подобных платежей можно распространить и на полигоны по захоронению отходов. Однако, в том случае, когда по своим техническим характеристикам полигон по захоронению отходов не соответствуют установленным нормам эксплуатации, может возникнуть риск ущерба загрязнения подземных водных горизонтов.

В отношении хозяйствующих субъектов, наносящих своей деятельностью незначительный ущерб почвам и, соответственно, подземным водам, введение платежей за загрязнение почв, по мнению автора, нецелесообразно. Введение платежей вызовет рост расходов на взимание платежей, осуществление контрольных функций и др. Более эффективным и менее затратным представляется вариант

усиления административной ответственности за содержание производственных территорий. За несоблюдение санитарных, градостроительных и иных норм могут налагаться административные и экономические (штрафные) санкции. Не меньшее значение имеет и совершенствование экономического механизма стимулирования сокращения поступления промышленных стоков на городские коммунальные очистные станции. Здесь экономическим механизмом стимулирования предприятий может быть введение дифференцированной платы за сброс сточных вод.

Суть дифференцированной платы сводится к тому, что плата конкретного предприятия за сброс сточных вод на городские коммунальные очистные станции определяется исходя из объемов и характера сбрасываемых веществ. Для каждого конкретного ингредиента или для групп схожих веществ, как и в методике, используемой для платы за сброс в открытые водоемы, устанавливаются базовые платежи. Принципиальным является следующий момент. Для органических соединений, а также для тех соединений, которые в силу своих свойств легко улавливаются на коммунальных очистных станциях устанавливаются минимальные нормативы платы, то есть такие нормативы платы, которые позволяют коммунальным очистным станциям покрывать издержки производства и получать нормальную прибыль. Базой для расчетов нормативов платы за сброс 1 тонны органических соединений должны быть данные об издержках коммунальных очистных станций на очистку сточных вод. Размер базовой платы устанавливается администрацией коммунальных очистных станций и согласуется с вышестоящими органами.

Для соединений, которые в силу своего химического состава не могут быть эффективно очищены на коммунальных очистных станциях, устанавливаются повышенные нормативы. В основе расчета базовых нормативов должны лежать не только данные о затратах коммунальных очистных станций на очистку 1 м³ сточных вод, но и данные об экономическом ущербе, который наносится хозяйству коммунальных очистных станций и окружающей среде в случае сброса данного вида загрязняющего

вещества без предварительной очистки на коммунальных станциях, то есть при расчете базового норматива учитываются три компонента: затраты коммунальных станций на очистку 1 м³ стоков нормативного качества, ущерб хозяйству коммунальных очистных станций в результате сброса данного вида вещества, ущерб окружающей среде (водоему в который поступают стоки) от сброса этого соединения.

Взимание начисленных платежей должно осуществляться администрацией коммунальных очистных станций. Контроль за соответствием стоков нормативным требованиям осуществляется инспекцией по контролю за промышленными стоками, которая входит в состав объединений хозяйства водоканала. Полученные в результате платежей средства должны распределяться следующим образом. Основная часть средств, соответствующая затратам коммунальных очистных станций на очистку сточных вод нормативного качества и органических соединений, а также соответствующая размеру ущерба, наносимого хозяйству коммунальных очистных станций в результате сброса вод с повышенным загрязнением, остается в распоряжении администрации коммунальных очистных станций и используется в дальнейшем для покрытия текущих затрат, модернизации и развития хозяйства водоканала. Часть средств, соответствующая размерам ущерба, наносимого водоемам в результате сброса неорганических соединений, которые не могут быть уловлены на очистных станциях в силу особенностей технологии производства, поступает в специальный фонд. Фонд может находиться либо в ведении администрации очистных станций, либо в ведении соответствующего бассейнового управления.

Средства данного фонда могут использоваться только в двух направлениях. Во-первых, для строительства локальных очистных станций, ориентированных на очистку стоков для данного предприятия или групп предприятий. Приоритет при этом должен отдаваться финансированию тех проектов, для которых найдены дополнительные источники финансирования администрациями предприятий. Во-вторых, для проведения восстановительных работ в бассейнах тех

рек, в которые поступают сбросы с предприятий-плательщиков средств.

Достоинством рассмотренного варианта является появление достаточно больших объемов финансовых средств, так как через систему городских коммунальных очистных станций проходит основной объем стоков. Также отсутствует необходимость дополнительных финансовых затрат для проведения мониторинга стоков.

Следует также обратить внимание и на развитие систем коммунального водоснабжения в малых городах и поселках городского типа. Это направление экономически выгодно в случае наличия на данную услугу платежеспособного спроса со стороны населения. В силу необходимости значительных капиталовложений требуется разработка гибкой системы кредитования населения по типу ипотечного кредита. В этом случае потребители первоначально вносят 30 % от общей суммы, необходимой на строительство систем подачи воды и канализационной сети, а остальная часть средств вносится в течение пяти лет с учетом корректировки на величину банковского процента. В дальнейшем эксплуатация сетей позволит увеличить поступление средств в местный бюджет, способствует созданию дополнительных рабочих мест, улучшит качество жизни граждан.

В целом, практическая апробация сформулированных в настоящей статье предложений, возможно, в режиме реализации 1...2 пилотных проектов, может способствовать снижению антропогенной нагрузки на водоемы и улучшению качества воды в них.

Выводы

В настоящей статье доказано, что применение предлагаемых автором инструментов регулирования (повышение качества мониторинга состояния окружающей среды, которое способствует росту репрезентативности определения размеров платежей за сброс загрязненных сточных вод в водоемы; оптимизация размеров платежей с точки зрения их влияния на основные показатели хозяйственной деятельности; создание специализированных факторинговых компаний с целью оптимального управления задолженностью предприятий перед государством по платежам за использование природных ресурсов) будет способствовать устранению существующих недостатков

решения проблемы стимулирования уменьшения сбросов загрязненных сточных вод в водоемы, включающих, прежде всего, загрязненные ставки рассматриваемых платежей и их относительно низкую собираемость.

В целях совершенствования экономического механизма стимулирования сокращения поступления промышленных стоков на городские коммунальные очистные станции обоснована целесообразность применения дифференцированной платы за сброс сточных вод. При этом содержательной основой такой дифференциации является всесторонний учет объемов и характера сбрасываемых веществ. Автором также показано, что часть собранных средств может быть аккумулирована в специальном фонде для последующего использования при строительстве локальных очистных станций, ориентированных на очистку стоков для данного предприятия или групп предприятий и проведения восстановительных работ в бассейнах тех рек, в которые поступают сбросы с предприятий плательщиков денежных средств. Рассмотренный механизм позволяет получить дополнительные финансовые ресурсы для снижения антропогенной нагрузки на водоемы, обусловленной сбросом загрязненных сточных вод.

Библиографический список

1. Бобылев С. Н., Ходжаев А. Ш. Экономика природопользования: учебн., 2-е изд. – М.: Инфра-М, 2014. – 500 с.
2. Борисова М. И., Воронцова Р. Ф. Проблемы нравственности и природа предпринимательства // Международный технико-экономический журнал, 2010. – № 4. – С. 35–42.
3. Краснощеков В. Н., Мурзина Е. В., Марголина Е. В. Экономический механизм природопользования коммунального водного хозяйства: монография. – М.: МГУП, 2009. – 178 с.
4. Краснощеков В. Н., Марьин С. В. Методика обоснования нормативов платы за использование водных ресурсов в сельском хозяйстве // Международный научный журнал. – 2008. – № 3. – С. 48–55.
5. Краснощеков В. Н., Марголин А. М. Основные направления совершенствования экономического механизма обеспечения устойчивого функционирования и развития водного хозяйства России: монография. – М.: МГУП, 2005. – 106 с.
6. Экологическое право: учебник; под ред. С. А. Боголюбова. – М.: Юрайт, 2011 г. – 482 с.
7. Марголин А. М., Бучнев О. А. Правотворческая деятельность: оценка регулирующего воздействия // Проблемы теории и практики управления. – 2014. – № 1. – С. 36–51.
8. Марголин А. М., Семенов С. А. Нужен ли России бюджет развития? // Экономист. – 2004 – № 1 – С. 73–80.

Материал поступил в редакцию 11.12.2015

Сведения об авторе

Марголина Елена Викторовна, кандидат экономических наук, профессор кафедры «Экономика природообустройства»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д.44; e-mail: margolina.el@yandex.ru.

E. V. MARGOLINA

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

ECONOMIC ENCOURAGEMENT MECHANISMS OF POLLUTED WASTE WATER DISCHARGE

The aim of the article is substantiation of recommendations on improving economic encouragement mechanisms of reducing discharge of polluted effluents into water basins. The analysis fulfilled by the author showed that the existing approaches to the solution of this problem has a number of disadvantages organically characteristic of them including, first of all, too low rates of payments and their relatively low cost. Among the proposed instruments of regulation there is considered an increase of the monitoring quality of the environmental condition promoting the growth of determination representation of payments sizes; optimization of payments sizes from a point of view of their influence on the main indicators of the economic activity; establishment of specialized factoring companies with the purpose of the optimal control of enterprises debts to the state on payments for using natural resources. Improvement of the economic mechanism is of important significance for stimulation of reducing the inflow of industrial effluents to the urban communal treatment stations based on the introduction of differential payment for effluents discharge. At the same time the substantial base of such differentiation is a comprehensive accounting of volumes and character of discharged matters. In the article there is also shown that a part of the collected means can be accumulated in a special fund for further usage at construction of local treatment stations oriented to the treatment of effluents of the enterprise or soil of the enterprise and carrying out of restoration works in the basins of those rivers into which effluents from the enterprise's payers of monetary means inflow. The considered mechanism allows studying additional finance resources for decreasing the anthropogenic load on water basins connected with waste water discharge.

Payment for pollutants discharge, collecting of payments, factoring, differential payment for effluents discharge.

References

1. Bobylev S. N., Khodzaev A. Sh. *Economica prirodnopolzovaniya: uchebn.*, 2-e izd. – M.: Infram-M, 2014. – 500 s.
2. Borisova M. I., Vorontsova R. F. Problemy npravstvennosti i priroda predprinimatelstva // *Mezhdunarodny tekhniko-economicheskyy zhurnal*, – № 4. – S. 35–42.
3. Krasnoshchekov V. N., Murzina E. V., Margolina E. V. *Economicheskyy mekhanizm prirodnopolzovaniya kommunalnogo vodnogo hozyajstva: monographiya*. – M.: MFVII, 2009. – 178 s.
4. Krasnoshchekov V. N., Marjin S. V. Metodika obosnovaniya normativov platy za ispolzovanie vodnykh resursov v sel'skom hozyajstve // *Mezhdunarodny tekhniko-economicheskyy zhurnal*. – 2008. – № 3. – S. 48–55.
5. Krasnoshchekov V. N., Margolin A. M. Osnovnye napravleniya soverhenstvovaniya ekonomicheskogo mekhanizma obespecheniya

ustoichivogo funktsionirovaniya i razvitiya vodnogo hozyajstva Rossii: monographiya. – M.: MGUP, 2005. – 106 s.

6. *Ecologicheskoye pravo: uchebnik*; pod redaktsiej S.A. Bogolyubova. – M.: Yurait, 2011 g. – 482 s.

7. Margolin A. M., Buchnev O. A. *Pravotvorcheskaya deyatel'nost': otsenka teorii i praktiki upravleniya*. – 2014. – № 1. – S. 36–51.

8. Margolin A. M., Semenov S. A. *Nuzhen li Rossii bjudzhet razvitiya?* // *Economist*. – 2004 – № 1 – S. 73–80.

Received on 11.12.2015.

Information about the author

Margolina Elena Victorovna, candidate of economic sciences, professpr of the chair «Economics of the environmental engineering»; FSBEI HERSAU-MAA named after C. A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Bol'shaya Akademicheskaya, 44; e-mail: margolina.el@yandex.ru.

УДК 502/504:630*43:630*002.5

А. В. ЕВГРАФОВ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», г. Москва

ПОВЫШЕНИЕ ПОЖАРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТОРФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

За последние десятилетия наиболее актуальной в России становится проблема лесных и торфяных пожаров, защита от которых своевременная их локализация и тушение являются актуальной государственной проблемой. Целью исследований являлся подбор комплекса машин для обработки почвы, который можно использовать для повышения пожарной устойчивости торфяных почв, а также для борьбы с торфяными пожарами и их профилактики. Для определения параметров пожарной опасности торфа был применен методика ВНИИПО МЧС РОССИИ по определению склонности различных материалов к самовозгоранию. В результате исследований были определены параметры торфяной почвы, влияющие на ее пожарную опасность (плотность, влажность, насыщенность окислителем), и подобран комплекс машин по изменению данных параметров. Изменение физических свойств торфяной почвы значительно увеличивает время до самовозгорания, что снижает вероятность возникновения пожара территорий бывших разработок торфа, на которых не были проведены рекультивационные мероприятия. Таким образом, очевидно, что в решении вопросов по борьбе с торфяными пожарами необходимо, прежде всего, своевременно проводить профилактические мероприятия, направленные на изменение свойств торфяных почв. Для проведения данных мероприятий необходимо использовать комплексы машин для обработки почвы. При возникновении торфяного пожара необходимо привлекать технику производственных и сельскохозяйственных предприятий района или области, которая может использоваться при тушении пожара, и как правило, находится на меньшем удалении от очагов пожара, чем специальная пожарная техника.

Торф, самовозгорание, профилактика самовозгорания, комплекс машин, ликвидация пожара, пожарная опасность.

Введение. За последние десятилетия наиболее актуальной в России становится проблема лесных и торфяных пожаров, защита от которых своевременная их локализация и тушение являются актуальной для государства.

Торф склонен к самовозгоранию, которое может возникать при температуре воздуха выше +50 °С (в летнюю жару поверхность почвы в средней полосе может прогреваться до +52...+54 °С). Самовозгорание вызывается за счет окисления атмосферным воздухом. Окислительные процессы экзотермичны, что сопровождается накоплением теплоты в реагирующей

массе. Особенность окислительных процессов при самовозгорании заключается в том, что они самоускоряются. Окислительные процессы ведут к самонагреванию окисляющегося материала. Интенсивность теплоотвода определяется размером и формой скопления самонагревающегося материала, его теплофизическими свойствами, коэффициентом внешнего теплообмена, а так же условиями внешней среды. Тепловое самовозгорание, как правило, происходит при условиях, когда скорость самонагрева больше скорости охлаждения [1].

Материалы и методы. При исследованиях процессов самовозгорания ото-

бранных предварительно образцов торфа была применена методика экспериментального определения условий теплового самовозгорания по рекомендациям ВНИИПО МЧС РОССИИ [2].

Для проведения опытов использовался сушильный шкаф марки СНОЛ-3,5 с объемом рабочей камеры, согласно рекомендациям, 40 литров и возможностью изменения температуры от 0 до 350 °С. Исследуемые образцы торфа помещались в контейнер К-30 цилиндрической формы, изготовленные из латунной сетки № 8 с высотой и диаметром 30 мм без проволоочного каркаса.

Температура в сушильном шкафу измерялась в нескольких точках тремя термопарами ТПК 011-0,5/1,5 с диаметрами электродов 0,5 мм диапазоном измерения температур –40...+800 °С и термоизоляцией. Дополнительно для контроля температуры в сушильном шкафу использовались ртутные термометры с диапазоном измерения от 0 до 350 °С.

Для записи показаний термодатчиков использовался измеритель-регистратор марки ИС-203.4 4-х канальный, к которому через нормирующие усилители НУ-02 с диапазоном рабочих температур 0...900 °С и выходным сигналом в виде постоянного тока 4...20 мА присоединялись термопары ТПК 011-0,5/1,5. Измеритель-регистратор ИС-203.4 через модуль ПС-2 и разъем RS-485 передавал данные с термодатчиков на персональный компьютер, которые с помощью программ Dispatcher 203 и Techno Graphics обрабатывались. Схема установки в сборе представлена на рисунке.

Результаты и их обсуждение. Из анализа результатов исследований, приведенных в таблице, видно, что время до самовозгорания испытуемых образцов изменялось в зависимости от насыпной

плотности материала. Разогрев торфа до температур самовозгорания возможен при полном отсутствии в нем влаги. Существенную роль при самовозгорании торфа играет его плотность, чем больше объемная плотность образцов, тем больше времени требуется для возникновения эффекта самовозгорания. Это объясняется тем, что в более плотном образце содержится больше воды по массе, чем в менее плотном, и поэтому влага испаряется дольше, что увеличивает время до самовозгорания более плотных образцов. После полного иссушения торфа в нем начинается химический процесс окисления органического материала. До иссушения торфа основная энергия затрачивается на испарение влаги, которая не дает торфу самовозгораться. Таким образом, увеличение плотности торфяной почвы и большее количество минеральных частиц увеличивают время до самовозгорания [3].

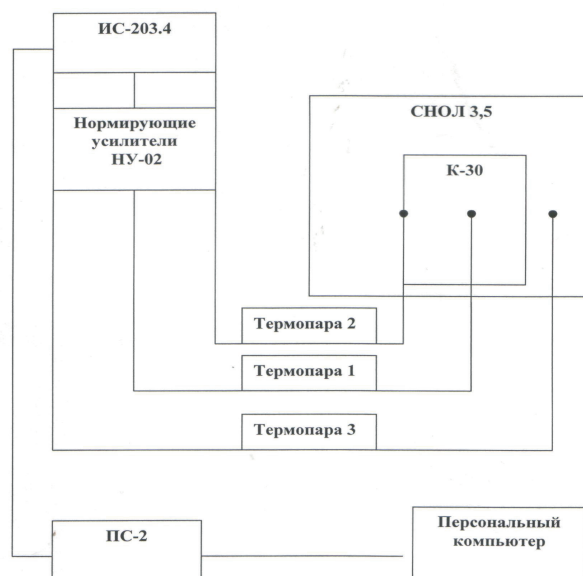


Схема экспериментальной установки

Результаты экспериментальных исследований зависимости плотности торфяной почвы и времени до самовозгорания

Плотность образца гр/см ³	Начальная влажность образца, % от массы абсолютно сухой почвы	Время до самовозгорания, минуты
Температура воздуха 210 °С		
0,13	77	23
0,14	77	25
0,18	77	29
Температура воздуха 175 °С		
0,16	77	26
0,17	77	31
0,21	77	39
Температура воздуха 90 °С		
0,16	77	98
0,18	77	153

Торфяные пожары, как правило, возникают на участках бывших торфоразработок, на которых не были проведены рекультивационные работы. На таких участках остается слой торфа толщиной до 2 м и осушительная система, которая отводит воду и способствует благоприятным условиям для возникновения самовозгорания торфяной почвы. Поэтому для профилактики возникновения пожаров на таких участках до проведения их рекультивации, наиболее целесообразно использовать обработку торфяной почвы при помощи комплекса сельскохозяйственных машин для изменения плотности участков и повышения минеральной части почвы, и внесения специальных добавок используемых для повышения пожарной устойчивости слоя торфа. Для проведения указанных мероприятий могут быть использованы следующие машины: 1) машины для внесения извести МВУ-12 с трактором Т-150 и РМГ-4 с МТЗ; 2) дисковая борона БДТ-7 и каток КЗК-10 с Т-150; 3) машины для внесения жидких растворов МЖТ-Ф-6 с МТЗ, МЖТ-10 с Т-150, МЖА-Ф-7 на базе автомобиля УРАЛ и РЖУ-3,6А на базе автомобиля ГАЗ 53 А; 4) машины для внутрипочвенного внесения растворов АВМ-Ф-2,8 с трактором МТЗ и АВО-Ф-2,8 с Т-150.

При возникновении торфяного пожара необходимо принимать меры по его тушению. Основным способом тушения подземного торфяного пожара является окапывание горячей территории торфа ограждательными канавами. Канавы рекомендуется копать шириной 0,7...1,0 м и глубиной до минерального грунта или грунтовых вод. При проведении земляных работ широко применяется специальная техника: канавокопатели, экскаваторы, бульдозеры, грейдеры, другие машины, пригодные для этой работы. Например, используют бульдозеры Д-572, БАТ-М, инженерную машину разграждения ИМР, быстроходную траншейную машину БТМ-3 и др.

Окапывание начинается со стороны объектов и населенных пунктов, которые могут загореться от горящего торфа. Также при борьбе с крупными лесными пожарами эффективно создание противопожарных барьеров [4].

Большая роль при ликвидации пожаров в лесах и на торфяниках отводится землеройной технике, которую используют в основном для устройства минерализованных полос и других противопожарных барьеров,

дорог противопожарного назначения, противопожарных водоемов и канав, аэродромов и посадочных площадок для самолетов и вертолетов.

Экспериментально установлено и практикой подтверждено, что для тушения торфяных пожаров необходимо обеспечить следующие интенсивности подачи воды $J = 0,1...0,15 \text{ л} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, время тушения $t_{\text{туш}} = 72 \text{ ч}$ [4]. Приведенные данные свидетельствуют о достаточно высоких значениях интенсивности подачи воды. Поэтому для тушения крупных торфяных пожаров требуется значительное количество техники с высокой производительностью пожарных насосов.

Скорейшей ликвидации возгораний способствует использование производственной и сельскохозяйственной техники, приспособленной для тушения пожаров. Как правило, лесные и торфяные пожары возникают вне черты расположения промышленных предприятий чаще всего находящихся поблизости или в черте городских территорий. Наиболее близко расположенными к очагам возгорания оказываются сельскохозяйственные предприятия, которые имеют в распоряжение технику, которую можно использовать для ликвидации лесных и торфяных пожаров. Особенно часто применяют следующие машины:

полуприцепную к трактору ДТ-75 торфяную машину (ПТМ), который служит для прочистки трубчатых мостов, состоит из рамы, катка-емкости (5200 л) и системы водообеспечения;

пожарные цистерны емкостью 5000 и 10000 л совместно с тракторами типа МТЗ, которые служат для ликвидации пожаров в местах, труднодоступных для другой техники;

поливомоечные (ПМ-130Б, и др.), которые используют самостоятельно для тушения низовых пожаров или для подвоза воды;

разбрасыватели жидких удобрений (РЖУ, РЖТ, РЖ), которые можно использовать для подвоза воды к месту пожара; особенно эффективны при пожаротушении РЖТ-8 и РЖТ-16 (в настоящее время РЖТ комплектуют специальными насадками для подсоединения напорных пожарных рукавов).

При тушении торфяных пожаров могут помочь полевые магистральные трубо-

провода (ПМТ), состоящие на оснащении Вооруженных Сил Российской Федерации. Впервые в отечественной практике наиболее масштабно их использовали в августе 1972 года при ликвидации массовых пожаров в центре и на востоке европейской части страны, где лесные и торфяные пожары распространились на огромную территорию (Московская, Рязанская, Владимирская, Нижегородская и другие области).

Трубопроводные части оснащены комплектами ПМТ с условными диаметрами труб 100, 150 и 200 мм, предназначенных для транспортировки светлых нефтепродуктов (при необходимости – нефти и воды) в полевых условиях на большие расстояния.

Каждый комплект представляет собой инженерно-технический комплекс, состоящий из труб, средств перекачки и другого оборудования, с помощью которого можно развернуть магистральную линию или необходимое количество локальных линий суммарной протяженностью до 150 км. Для ПМТ характерна высокая скорость монтажа и использование в любых географических условиях. Сборно-разборная конструкция полевых трубопроводов позволяет оперативно перемещать комплекты ПМТ (полностью или по частям) всеми видами транспорта, быстро развертывать их на выбранных направлениях, вести перекачку воды до выполнения задачи и демонтировать.

Выводы

Из результатов экспериментальных исследований, приведенных в таблице, видно, что изменение физических свойств торфяной почвы значительно увеличивает время до самовозгорания, что снижает вероятность возникновения пожара территорий бывших разработок торфа, на которых не были проведены рекультивационные мероприятия. Таким образом, очевидно, что в решении вопросов по борьбе с торфяными пожарами необходимо, прежде всего,

своевременно проводить профилактические мероприятия, направленные на изменение свойств торфяных почв. Для проведения данных мероприятий необходимо использовать комплексы машин для обработки почвы. При возникновении торфяного пожара так же необходимо привлекать технику производственных и сельскохозяйственных предприятий района или области, которая может использоваться при тушении пожара, и как правило, находится на меньшем удалении от очагов пожара, чем специальная пожарная техника.

Библиографический список

1. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетики. – М.: Наука, 1967. – 491 с.
2. Киселев Я. С. Физические модели горения в системе предупреждения пожаров : монография. – С.-Пб.: Санкт-Петербургский университет МВД России, 2000. – 264 с.
3. Система мониторинга температурного состояния торфяника / Пат. № 67872 Российская Федерация, (51) МПК А62С 3/00, А62С 2/00. / Н. Н. Дубенок, А. В. Евграфов; заявитель и патентообладатель Евграфов А. В. (RU). – 2007117625/22, заявл. 14.05.2007, опубл. 10.11.2007. – Бюл. № 31.
4. Валендик Э. Н., Матвеев П. М., Сафонов М. А. Крупные лесные пожары. – М.: Наука, 1979. – 198 с.

Материал поступил в редакцию 29.03.2016.

Сведения об авторе

Евграфов Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела мелиорации земель; ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2; тел.: +7-916-132-74-07.

A. V. EVGRAFOV

The Federal state budget scientific institution

«The All-Russian research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakov», Moscow

ENHANCEMENT OF PEAT FIRE STABILITY USING SPECIAL TECHNIQUES

For the last decades the most urgent problem in Russia has become a problem of forest and peat fires, protection from which is their timely localization and extinguishing that is the urgent state problem. The purpose of investigations was a choice of machinery for soil treatment which can be used for peat fires control and their prevention. For determination of parameters of peat fire hazard there was used a method VNIPO MCHS of RUSSIA on determination of the inclination of different materials to spontaneous ignition. As a result of researches there were determined parameters of peat soil influencing its fire danger (density, moisture, saturation with oxidizer) and was selected a complex of machinery on changing the data of parameters. Changing of physical characteristics of the peat soil significantly increases the time before spontaneous ignition which reduces a probability of fire ignition of the territories of former peat developments where recultivation measures were not performed. Thus, it is obvious that it is necessary when solving problems of peat fires control to in due time fulfill preventive measures directed to the change of properties of peat soils. For conducting such measures it is necessary to use complexes of machinery to treat the soil. At ignition of peat fire it is necessary to use the technique of industrial and agricultural enterprises of the region or area which can be used during fire extinguishing and, as a rule, be closer to the fire origin than a special fire technique.

Peat, spontaneous ignition, machinery, fire suppression, fire hazard.

References

1. Frank-Kamenetsky D. A. Diffuziya i teploperedacha v himicheskoy kinetike. – M.: Nauka, 1967. – 491 s.

2. Kisilev Ya. S. Fizicheskiye modeli goreniya v sisteme preduprezhdeniya pozharov: monographiya. – S.-Pb.: Sankt-Peterburgsky universitet MVD Rossii, 2000. – 264 s.

3. Sistema monitoring temperaturnogo sostoyaniya torfyanika / Pat. № 67872 Rossiyskaya Federatsiya, (51) MPK A62S 3/00, A62S 2/00. / N.N. Dubenok, A. V. Evgrafov; zayavitelj I patentoobladatelj Evgrafov A.V. (RU). – 2007117625/22, zayavl. 14.05.2007, opubl. 10.11.2007. –

Bul. № 31.

4. Valendik E. N., Matveev P. M., Safonov M. A. Krupnye lesnye pozhary. – M.: Nauka, 1979. – 198 s.

Received on 29.03.2016.

Information about the author

Evgrafov Alexey Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor, senior researcher of the land reclamation department; FSBSI «BNIIGiM named after A.N. Kostyakov»; 127550, Moscow, ul. Boljshaya Akademicheskaya, 44, corp. 2; tel.: +7-916-132-74-07.

УДК 502/504:630*4:631.6

А. Е. КАСЬЯНОВФедеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва**ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЩИТЫ ЛЕСА
ОТ ВРЕДИТЕЛЕЙ НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ**

В момент массовой вспышки вредителя леса известные экологические способы защиты малоэффективны. Лесохозяйственные способы защиты, включающие оздоровительные рубки, выкладку ловчих деревьев, установку ловушек с феромонами дают положительный результат через три–четыре года. В сосновых древостоях центра России высокую активность проявляет большой сосновый лубоед. В очагах массового размножения он полностью уничтожает древостой. Этот вредитель поражает лес и на осушаемых лесных землях. Вредитель – большой сосновый лубоед зимует в почве под корневыми лапами деревьев. Весной при среднесуточной температуре воздуха +5 °С (в третьей декаде апреля – начале мая) основная масса вредителей выходит из под корневых лап на стволы в зоне толстой коры. Предложена новая технология использования осушительной системы для борьбы с вредителями леса. Для подавления размножения вредителя на поверхности создают весенний слой затопления воды. Он погибает в слое воды затопления. Осенью на плане осушительной сети отмечают участки, на которых зафиксирована вспышка размножения вредителя. В зимний период перекрывают шлюзы-регуляторы на собирателях. Весной на поверхности почвы формируется слой воды. В третьей декаде мая открывают все шлюзы-регуляторы и избыточную воду сбрасывают. Технология моделирует естественный процесс затопления леса весенним половодьем. Она экологически безопасна для окружающей среды и древостоя. Вредители пытаются переместиться из под корневых лап в зону толстой коры ствола. 80 % вредителей погибают в слое воды затопления, 15 % – находятся в угнетенном состоянии. Предложенная технология защиты леса экологически безопасна. Она соответствует естественному процессу весеннего затопления леса.

Вредитель леса, защита леса, осушаемые лесные земли, слой весеннего затопления, шлюзы-регуляторы, собиратели, большой сосновый лубоед, встречаемость вредителя.

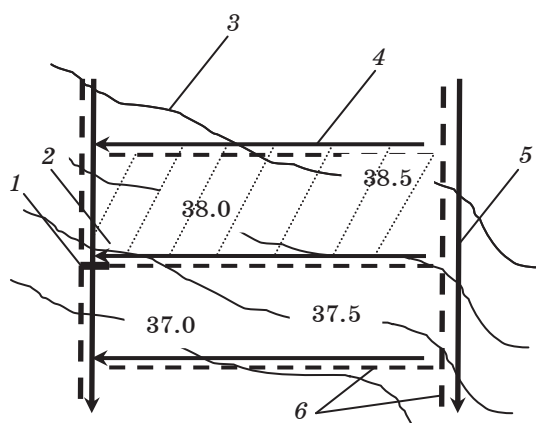
Введение. В момент массовой вспышки вредителя леса известные экологические способы защиты малоэффективны. Лесохозяйственные способы защиты, включающие оздоровительные рубки, выкладку ловчих деревьев, установку ловушек с феромонами дают положительный результат через три–четыре года. В сосновых древостоях центра России высокую активность проявляет большой сосновый лубоед. В очагах массового размножения он полностью уничтожает древостой. Этот вредитель поражает лес и на осушаемых лесных землях.

Материалы и методы исследований. Сосновый лубоед зимует в почве под корневыми лапами деревьев. Весной при среднесуточной температуре воздуха +5 °С в третьей декаде апреля – начале мая основная масса вредителей выходит из-под корневых лап на стволы в зоне

толстой коры. Для подавления размножения вредителя на поверхности создают весенний слой затопления воды [1].

В начале лета и осенью проводят обследование участков, расположенных между осушителями. Вспышку размножения вредителя фиксируют по резкому увеличению встречаемости от 3 до 30 и более процентов. На плане осушительной сети отмечают участки, на которых зафиксирована вспышка. План части осушительной сети с участком леса, пораженным вредителем, показан на рисунке. В зимний период перекрывают шлюзы-регуляторы 1 на собирателях, в которые впадают осушители 4 с пораженных вредителями участков леса. Высоту шлюза-регулятора наращивают до отметки полотна приканальной дороги 6. На системе без шлюзов-регуляторов

отсыпают временные перемычки. Дороги 6 на осушаемом массиве устраивают на выровненных кавальерах. Дороги, проходящие вдоль осушителей 4, соединяют в зоне истоков с дорогами, которые проходят вдоль соседних собирателей 5. При среднесуточной температуре воздуха $+5^{\circ}\text{C}$ в третьей декаде апреля – начале мая корневые лапы затапливаются слоем талой воды глубиной до 30 см. Большой сосновый лубоед в этот период покидает после зимовки корневые лапы, пытается перебраться на ствол дерева, попадает в слой затопления и погибает. Вспышка численности вредителя подавляется.



План части осушительной сети: 1 – шлюз-регулятор или временная перемычка; 2 – участок леса, пораженный вредителем; 3 – горизонталь; 4 – осушитель; 5 – собиратель; 6 – дорога на выровненном кавальере

В третьей декаде мая все шлюз-регуляторы и временные перемычки открывают. Талая вода сбрасывается в водоприемник. Затопление леса с апреля до конца мая не оказывает отрицательного влияния на рост и развитие деревьев.

Высота слоя затопления изменяется по площади участка осушаемого массива. На части площади участка, где недостаточна глубина слоя затопления, часть вредителей преодолевает слой воды затопления и остаются на плаву. Талую воду сбрасывают в водоприемник. Талая вода перемещает в водоприемник часть вредителей, которые заселяют его берега. Для перехвата выживших вредителей в устьевой части магистрального транспортирующего канала размещают боновые

заграждения. Заграждения перехватывают плывущих вредителей, которых далее уничтожают [2]. Весеннее затопление улучшает санитарное состояние леса, так как помимо большого соснового лубоеда под корневыми лапами скрываются и другие виды вредителей леса.

Результаты исследований. Мероприятия по весеннему затоплению леса целесообразно повторять через 5...6 лет. Опыт по оценке влияния слоя затопления на большого соснового лубоеда был проведен в Шатурском районе Московской области. Модельные деревья в сосновом древостое, (класс бонитета III, полнота 0,7, возраст 50 лет) пораженные большим сосновым лубоедом, были обвалованы. В начале интенсивного таяния снега при положительной среднесуточной температуре воздуха (первая декада апреля) на поверхности осушаемого массива и в зоне обвалования начинает формироваться слой талой воды затопления. При среднесуточной температуре воздуха $+5^{\circ}\text{C}$ (конец апреля – первая декада мая) глубина слоя воды над корневыми лапами составляет 15...20 см. В этот период фиксировали на поверхности воды число и состояние вредителей. Около 80 % особей погибло, 15 % находилось в угнетенном состоянии, 3 % активно перемещались из общего числа 50 особей. Почвенные режимы на обвалованном участке и массиве осушения в последующий летний период существенно не различались. Отсутствовали различия и в состоянии древостоя и напочвенного покрова.

Защита леса от вредителей весенним затоплением аналогична природному процессу образования слоя талой воды. Это экологически чистая технология.

Выводы

Предложена новая технология использования осушительной системы для борьбы с вредителями леса. В летне-осенний период выявляют участки леса со вспышкой размножения вредителя. В зимний период перекрывают шлюз-регуляторы на собирателях. В весенний период на поверхности формируется слой воды весеннего затопления. Вредители пытаются переместиться из под корневых лап в зону толстой коры ствола. 80 % вредителей погибают в слое воды затопления, 15 % – находятся в угнетенном состоянии. Предложенная технология защиты леса экологически безопасная.

Она соответствует естественному процессу весеннего затопления леса.

Библиографический список

1. Способ защиты сосновых древостоев от вредителей / Пат. 2178250 Российская Федерация. А 01 G 23/00 (2000.01) / Касьянов А. Е.; заявитель и патентообладатель МГУ природообустройства. – № 2000107618/13; заяв. 30.03.2000; опубл. 20.01.2002 г. в Бюл. № 2. – 4 с.

2. Способ защиты сосновых древостоев от вредителей / Пат. 2356217 Российская Федерация. А 01 G 23/00 (2006.01) / Касьянов А. Е.;

заявитель и патентообладатель МГУ природообустройства. – 2006113207/12; заяв. 20.04.2006; опубл. 27.05.2009 г. в Бюл. № 15. – 4 с.

Материал поступил в редакцию 18.11.2015.

Сведения об авторе

Касьянов Александр Евгеньевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Мелиорация и рекультивация земель»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д.44; тел.: 8(499)976-30-70; e-mail: kasian64@mail.ru.

A. E. KASJANOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

ENVIRONMENTALLY SAFE TECHNOLOGY OF FOREST PROTECTION FROM PESTS ON DRAINAGE LANDS

At the moment of mass outbreaks of pests the known protection methods are ineffective. Forest economic means of protection including sanitary cuttings, layout of trap trees, putting traps with pheromones give a positive result after three-four years. In pine stands of the central Russia pine tree beetle is very active. In the places of mass reproduction it destroys the stand completely. This pest affects the forest and on the drained forest lands. The pest, a pine tree beetle, spends winter in the soil under root boughs of trees. In spring at the average daily air temperature +5 °C (in the third decade of April – beginning of May) the main mass of pests come from root boughs to the trunks in the zone of thick bark. There is proposed a new technology of drainage system usage for forest pests control. For suppression of pest reproduction a spring layer of water flooding is made on the surface. In autumn on the layout of the drainage network there are marked the parts on which the outbreak of pest reproduction is fixed. In the winter time sluices-regulators are blocked on collectors. In spring on the soil surface there is formed a layer of water. In the third decade of May all sluices – regulators are opened and the excess water is discharged. The technology models the natural process of forest flooding by spring high water. It is ecologically safe for the environment and tree stand. Pests try to move from root boughs into the zone of thick trunk bark. 80 % of pests die in the water layer of flooding, 15 % are in the depressed state. The proposed technology of forest protection is ecologically safe. It corresponds to the natural process of spring forest flooding.

Forest pests, forest protection, drainage forest lands, spring flooding layer, sluices, collectors, pine tree beetle, pest frequency of occurrence.

References

1. Sposob zashchity sosnovykh drevostoev ot vreditel'ev / Pat. 178250 Rossijskaya Federatsiya. A 01 G 23/00 (2000.01) / Kasjanov A.E.; zayavitelj I patentobladatel'j MGU prirodobustrojtva. – № 2000107618/13; zayav. 30.03.2000; opubl. 20.01.2002 v Bul. № 2. – 4 s.

2. Sposob zashchity sosnovykh drevostoev ot vreditel'ev / Pat. 2356217 Rossijskaya Federatsiya. A 01 G 23/00 (2006.01) / Kasjanov A.E.; zayavitelj I patentoo-

bladatelj MGU prirodobustrojtva. – № 2006113207/12; zayav. 20.04.2006; opubl. 27.05.2009 v Bul. № 15. – 4 s.

Received on 18.11.2015.

Information about the author

Kasjanov Alexander Evgenjevich, doctor of technical sciences, professor of the chair «Lands reclamation and recultivation»; FSBEI HERSAU-MAA named after C. A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Boljshaya Akademicheskaya, 44; tel.: 8(499)976-30-70; e-mail: kasian64@mail.ru.

УДК 502/504:639.31

В. А. ВЛАСОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва**ВЛИЯНИЕ АСТАТИЧНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВОДЫ
НА РОСТ СИБИРСКОГО ОСЕТРА**

В статье рассматривается влияние колебаний температуры воды на рост и развитие сибирского осетра, выращиваемого в условиях бассейнов. Установлено, что колебания температурного режима оказывает влияние на интенсивность роста осетров и морфо-физиологические показатели. При выращивании двухлеток сибирского осетра астатичный терморегим позволяет повысить скорость роста рыб, снизить затраты корма. Наилучшим по основным рыбоводным показателям является терморегим, который близок к естественному, то есть. повышение температуры воды с 8 ч. (19 °С) до 16 ч. (25 °С) при дальнейшем ее снижении. Терморегим, при котором температура воды дважды в сутки (с 8 до 14 ч. и с 20 до 2 ч.) повышается с 19 до 25 °С, а в остальные часы соответственно снижается до прежнего уровня, позволяет поддерживать равномерный рост всех особей осетров в одном бассейне. Суточный объем потребляемого осетрами корма составляет 1,9...2,0 % от их массы, а максимальное потребление корма рыбой отмечено в периоды с 6 до 8 ч. и с 10 до 11 ч. В ночное время осетры корм не потребляли. Интенсивно растущие осетры, выращиваемые при астатичных терморегимах, потребляли на 10...29 % больше кислорода на единицу живой массы. С ростом осетров и увеличением их массы происходит уменьшение относительной массы сердца с 0,25 до 0,16...0,17 %, желудочно-кишечного тракта с 2,6 до 1,6...1,9 %, пилорической железы с 0,2 до 0,1 % и селезенки с 0,6 до 0,2...0,3 %.

Siberian sturgeon, thermal mode, growth, development, exterior, chemical composition of muscles, product quality, morphological parameters

Введение. Одним из перспективных направлений аквакультуры является товарное осетроводство. Это не только составная часть производства ценной белковой продукции, но и основной источник восполнения численности осетровых рыб, особенно редких и исчезающих видов.

Перспективным объектом товарного осетроводства является сибирский осетр. Создание научной основы рациональной биотехнологии его выращивания имеет серьезное хозяйственное значение. В первую очередь это относится к оптимизации заводского выращивания молоди, в частности за счет приближения параметров абиотической среды к условиям, обеспечивающим максимальную реализацию ростовых потенциалов рыб, вы-

сокую эффективность конвертирования ими потребляемой пищи и физиологическую полноценность особей [2]. Наиболее важным абиотическим фактором среды является температурный режим. Вопрос о понимании оптимума, как и вопрос о его конкретных значениях, до сих пор нельзя считать окончательно изученным.

В связи с этим целью настоящей работы являлось изучение роста, рыбоводных, морфофизиологических, товарных качеств и других особенностей сибирского осетра в зависимости от температурного режима воды и выявление наиболее эффективных способов выращивания, информативных и чувствительных морфофизиологических индикаторов.

Материалы и методы. Исследования проведены в аквариальной кафедры

аквакультуры и пчеловодства РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева. Объектом исследований являлись годовики сибирского осетра. В эксперименте предусмотрены четыре варианта, различающиеся по термическому режиму воды (табл. 1).

Параметры плотности посадки рыб, кратность кормления, качество кормов и основные условия выращивания поддерживались близкими к рыбоводно-биологическим нормативам для сибирского осетра, выращиваемого в бассейновых условиях [3].

Таблица 1

Схема опыта

Показатель	Вариант опыта			
	1 (контроль)	2	3	4
Температурный режим	22 °С в течение суток	с 8 до 16 ч. (19 -> 25°); с 16ч до 08ч (25 -> 19°)	с 8ч до 16ч (25 -> 19°); с 16ч до 8ч (19 -> 25°)	с 8ч до 14ч и с 20ч до 2ч (19 -> 25°); с 14ч до 20ч и с 2ч до 8ч (25 -> 19°)
Объем бассейна, л	500	500	500	500
Начальная масса годовиков осетра, г	130	130	130	130
Плотность посадки рыб, шт./м³	40	40	40	40
Кормление рыб	комбикорм Есolaif-15			
Длительность опыта, суток	130	130	130	130

Для кормления рыб использован гранулированные корма Есolaif-15 фирмы Biomar, разработанные для кормления осетровых.

Стандартный обмен у рыб изучен при проведении 5-суточных опытов по методике Н. С. Строганова [7]. Определена интенсивность потребления кислорода (ИПК) и выделение аммонийного азота (ИВА) осетрами.

Химический состав мышц осетров определен в начале и в конце опыта по общепринятым методикам [4].

В начале и в конце опыта проведена анатомическая разделка рыб, рассчитаны индексы телосложения [6, 8]. Зависимость интенсивности обмена, экстерьерных и интерьерных показателей от массы тела рассчитаны по уравнению Huxley (1932): $y = aw^e$,

где y – изучаемый признак; a и e – коэффициенты зависимости; w – масса тела, г.

Полученные экспериментальные данные подвергнуты биометрической обработке по методам, предложенным Н. А. Плохинским [5], уровень достоверности принят равным 95 %. Обработка проведена с использованием программного пакета MS Excel 2003.

Результаты и их обсуждение. После периода акклимации рыбы, завезенной из рыбоводного садкового хозяйства г. Электрогорска Московской области, годовики осетров во всех вариантах были адаптированы к изучаемым терморежи-

мам. В контроле (вариант 1) температуру воды в период опыта поддерживали стабильной $22,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$. Содержание в воде растворенного кислорода в течение суток изменялось в пределах 6,4...6,8 мг/л и в среднем составило $6,6 \pm 0,6$ мг/л.

В варианте 2 повышение температуры воды с 08 до 16 ч. происходило со скоростью $+0,6^\circ\text{C}$ в час, а ее понижение с 16 до 08 ч. в среднем со скоростью $0,3^\circ\text{C}$ в час. Средние значения температуры воды и концентрации кислорода составили $22,2 \pm 0,2^\circ\text{C}$ и 6,5 мг/л.

В варианте 3 повышение температуры воды с 16 до 08 ч. происходило со скоростью $+0,3^\circ\text{C}$ в час, а снижение с 08 до 16 ч. – $0,6^\circ\text{C}$ в час. Средние значения температуры воды и содержания кислорода в этом варианте составили за период опыта $22,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$ и $6,7 \pm 0,2$ мг/л.

В варианте 4 повышение и понижение температуры воды происходило со скоростью $0,8^\circ\text{C}$ в час. При максимальных значениях температуры воды в 14 и 02 ч., содержание кислорода в воде было минимальным (6,1 мг/л), а при снижении температуры повышалось до 6,9 мг/л. Средние значения составили $22,1 \pm 0,^\circ\text{C}$ и $6,5 \pm 0,4$ мг/л соответственно.

Концентрация аммонийного азота в воде бассейнов при выращивании рыбы в период опыта различались по вариантам не существенно и была ниже рекомендуемых нормативов [1].

За период адаптации рыб к новым

условиям содержания при одинаковой температуре воды абсолютный прирост массы, относительная скорость роста и коэффициент массонакопления составили по вариантам 1...4 соответственно: 1,3...1,8 г/сут, 1,2...1,3 % и 0,05...0,065. Дальнейшее выращивание осетров при планируемых температурных режимах показало, что скорость роста рыб значительно увеличилась. Абсолютный прирост повысился до 3,3...4,7 г/сут, относительный – до 1,9...2,5 %. Максимальные значения этих показателей отмечены во втором и четвертом вариантах.

При невысокой изменчивости массы тела рыб (14...16,4 %) в начале опыта отмечено в дальнейшем увеличение этого показателя. Максимальных значений (26,8 и 25,4 %) коэффициент вариации достигает в 3 и 1 вариантах соответственно. В варианте 4 (с максимальным значением температуры воды в 14 и 02 ч.) этот показатель возрос всего на 1,3 %. За этот период выращивания максимальные показатели роста получены во втором варианте (повышение температуры воды с 08 до 16 ч.). Несколько меньшими (на 6,5 %) они были в четвертом варианте (повышение температуры воды в дневное и ночное время). При повышении температуры воды в ночное время с 16 до 08 ч. (вариант 3) скорость роста рыбы была минимальной (2,3 г/сут). И это несмотря на то, что осетр – сумеречно-ночная рыба. Кроме того, следует обратить внимание на то, что сибирский осетр обладает довольно большими потенциальными возможностями роста. Лучшие показатели получены в контрольном варианте 5,3 г/сут, то есть 73 % от потенциально возможного прироста. В вариантах 2 и 3 (повышение температуры в ночное и дневное время) скорость роста была несколько меньше и составила 66 % и 70 % потенциально возможной. Медленнее остальных росли осетры в четвертом варианте, то есть при двукратном изменении температуры воды в течение суток. Абсолютный прирост составил 4,3 г/сут, что соответствует 60 % от потенциально возможного роста. Данные, полученные при определении количества и динамики потребления корма осетрами в течение суток, показали, что суточное потребление корма во всех вариантах составило 1,9...2,0 % от массы тела рыб и превысило рекомендуемые нормы кормления в 1,7...1,9 раз. Максимальное потребление корма рыбами

отмечено в периоды с 6 до 8 ч. и составило 23...25 % и с 10–11 ч. – 40...53 % от общего количества. В период с 24 до 06 ч. осетры, независимо от температурного режима, на вносимый корм почти не реагировали.

Таким образом, на первом этапе выращивания осетры росли лучше во втором варианте опыта, то есть при повышении температуры воды в дневное время суток. Абсолютный, относительный приросты рыб и коэффициент их массонакопления составили 3,1 г/сут, 1,6 % и 0,07 соответственно. Во втором периоде опыта (29.04–6.07) отмечено снижение влияния на рост рыбы температурного режима, поддерживаемого в этом варианте. Вместе с тем скорость роста осетров в этом варианте оставалась довольно высокой, незначительно уступая значениям, полученным в контроле. Необходимо отметить, что несмотря на менее интенсивный рост осетров в варианте 4, выращенная рыба была более ровной по массе, что является желательным условием для производства высококачественного рыбопосадочного материала. Температурные режимы первых трех вариантов более подходят для производства товарной продукции. Выращивание рыбы со значительным разбросом по живой массе позволит не только расширить размерно-весовой ассортимент выпускаемой продукции, но и удлинить сроки реализации. Поэтому при использовании переменных температурных режимов для выращивания сибирского осетра массой в пределах 130...670 г следует проводить корректировку суточных норм кормления, а также сортировку рыбы с учетом особенностей ее роста и изменением вариабельности массы тела. Выращивание сибирского осетра в условиях различных температурных режимов показывает, что эффективность этого процесса находится в тесной зависимости от условий содержания и возраста рыб (табл. 2). Так, в первый период выращивания (25.02–21.04) наиболее эффективным являлся температурный режим, поддерживаемый во втором варианте. В этих условиях осетры выращены на 10,9...17,8 % крупнее, чем в первом и третьем вариантах, что отразилось на величине прироста ихтиомассы и затратах корма. В этом варианте прирост ихтиомассы превысил показатели первого и третьего вариантов на 8 и 19 % при минимальных (0,86 кг/кг)

затратах корма на прирост. Несколько худшие результаты получены в четвертом варианте. Средняя масса рыб была

на 3,4 %, прирост ихтиомассы на 5,0 % больше, а затраты корма на 3,5 % меньше, чем в контроле.

Таблица 2

Результаты выращивания осетров

Период	Показатель	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
		посадка	облов	посадка	облов	посадка	облов	посадка	облов
25.02–21.04	Ср.масса рыбы, г	133	234	130	262	126	222	132	253
	Ихтиомасса, г	2656	4716	2862	5232	2645	4438	2630	5055
	Прирост ихтиомассы, г	–	2077	–	2255	–	1833	–	2148
	Затраты корма, кг/кг	–	0,92	–	0,86	–	1,05	–	0,89
29.04–6.07	Ср.масса рыбы, г	271	622	325	667	280	620	289	575
	Ихтиомасса, г	2983	6845	3579	7333	3088	6820	3185	6325
	Прирост ихтиомассы, г	–	3863	–	3754	–	3732	–	3140
	Затраты корма, кг/кг	–	0,86	–	1,08	–	0,90	–	1,11

За второй период опыта (29.04–6.07), как указывалось выше, происходит изменение реакции осетров на температурные условия содержания. Из данных, приведенных в таблице 2, видно, что прирост ихтиомассы на 3,0...3,4 % меньше, а затраты корма на 25,6 и 4,4 % больше в вариантах 2 и 3 по сравнению с контролем (вариант 1). Минимальные показатели получены в варианте с повышением температуры воды 2 раза в сутки (вариант 4).

В целом, за весь период опыта во всех вариантах, кроме четвертого, получены незначительные различия по результатам выращивания осетра. Вместе с тем, отмечена незначительная тенденция увеличения затрат корма на прирост рыбы во втором и третьем вариантах. Особо следует обратить внимание на результаты, полученные в четвертом варианте. В этом варианте, несмотря на самые низкие рыбоводные по-

казатели, выращена более однородная по массе рыба, что является важным качественным показателем при производстве рыбопосадочного материала.

Содержание пластических веществ в мышцах осетров находится в тесной зависимости не только от температурных условий, но и от живой массы рыб. Анализ данных таблицы 3 показал, что с увеличением живой массы рыб происходит значительное накопление пластических веществ в мускулатуре осетра. Содержание сухого вещества увеличивается на 6,5...8,5 % (разность достоверна). По содержанию жира в сухом веществе отмечается тенденция на его увеличение на 9,4...17,5 % (хотя различия недостоверны), при соответствующем снижении протеина. Выявлена определенная зависимость между условиями содержания и содержанием пластических веществ в мышцах осетра.

Таблица 3

Химический состав мышц осетров

Показатель	В начале опыта	В конце опыта			
		вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 4
Сухое вещество, %	21,10 ± 2,06	29,15 ± 1,09	29,02 ± 1,05	29,70 ± 1,50	25,77 ± 0,46
Сырой протеин, %	75,45 ± 7,08	59,47 ± 2,90	61,24 ± 4,14	62,16 ± 7,17	72,13 ± 3,14
Сырой жир, %	20,35 ± 8,53	37,00 ± 3,13	35,20 ± 4,25	34,36 ± 7,41	23,92 ± 3,03
Зола, %	5,20 ± 0,73	3,53 ± 0,27	3,54 ± 0,17	3,49 ± 0,23	3,95 ± 0,25

В процессе выращивания осетров, как в условиях постоянного, так и переменных температурных режимов (варианты 1...3), происходит значительное увеличение содержания пластических веществ в мускулатуре рыб (табл. 3). Это в

основном происходит за счет содержания жира, количество которого возрастает на 14...16,6 %, что свидетельствует об усилении липидного обмена у осетров и может сопровождаться снижением жизнеспособности рыб. В варианте 4, где

поддерживалось повышение и понижение температуры воды бассейнов на 0,8 °С в час в дневное и ночное время суток, хотя и увеличивается пластический обмен у рыб, но это происходит менее интенсивно по сравнению с другими вариантами. Это, по-видимому, может способствовать получению более жизнеспособных рыб, что является необходимым условием при выращивании физиологически полноценного рыбопосадочного материала осетров.

Исследования интенсивности потребления рыбой кислорода (ИПК) и выделения аммонийного азота (ИВА) в период выращивания показали, что с увеличением живой массы особей эти показатели изменялись незначительно. Следует отметить, что данные наших исследований не согласуются с данными других авторов

[9]. В исследованиях не отмечен эффект снижения интенсивности дыхания у рыб в условиях осцилляции температуры воды.

В вариантах 2...4, то есть переменным температурным режимом, по сравнению с вариантом 1 (с постоянной температурой воды), интенсивность потребления кислорода осетрами на 10...29 % больше. По мере роста и увеличения живой массы рыб эти различия становятся более существенными.

Сравнивая показатели интенсивности выделения аммонийного азота осетрами в зависимости от температурных условий, следует отметить, что минимальные значения получены в варианте 2. Интенсивность выделения аммония у рыб из этой группы на 22...64 % меньше, чем в других вариантах опыта.

Таблица 4

Интенсивность потребления кислорода (ИПК) и выделения аммонийного азота (ИВА) осетрами при +22 °С

Вариант	ИПК, мг/кг · ч	1 экз.	ИВА, мг/кг · ч	1 экз.
1	167,0 ± 4,5	= 0,213w ^{0,95}	0,90 ± 0,20	= 1,89 · 10 ⁻⁵ w ^{1,66}
2	185,8 ± 7,7	= 0,315w ^{0,91}	0,73 ± 0,14	= 0,85 · 10 ⁻⁵ w ^{1,75}
3	172,2 ± 9,9	= 0,181w ^{0,99}	1,04 ± 0,21	= 2,70 · 10 ⁻⁵ w ^{1,61}
4	187,2 ± 8,1	= 0,105w ^{1,1}	1,26 ± 0,23	= 5,25 · 10 ⁻⁵ w ^{1,51}

Более полная характеристика осетров, выращиваемых в искусственных условиях, получена на основании данных изучения развития внутренних органов и их относительных величин – индексов. Выявлено, что с увеличением массы рыб происходит достоверное уменьшение относительной массы сердца с 0,25 до 0,16 %. Однако существенных различий по этому показателю между вариантами с различными терморегимами не установлено.

Относительные показатели массы желудка и кишечника (ЖКТ) используются для характеристики интенсивности

обмена веществ и зависят от количества и качества корма и других условий выращивания рыб. У исследуемых осетров к концу выращивания происходит снижение этого индекса до 1,57 %. Причем у рыб в вариантах 1 и 3 это уменьшение составляет всего 1,3...1,4 раза, а в двух других – 1,5...1,6 раза.

Содержание осетров при различных температурных условиях привело к изменению относительной длины ЖКТ. Максимальные значения этого показателя установлены в варианте 3. Они достоверно больше, чем в вариантах 2 и 4.

Таблица 5

Интерьерная характеристика осетров (% от массы рыбы)

Показатель	В начале опыта	В конце опыта			
		вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 4
Масса рыбы, г	155 ± 6,84	682,7 ± 126,9	689,7 ± 51,1	683,7 ± 58,3	571,0 ± 31,6
Сердце	0,25 ± 0,02	0,17 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,01
ЖКТ	2,6 ± 0,14	1,9 ± 0,51	1,67 ± 0,48	1,83 ± 0,28	1,57 ± 0,33
Длина ЖКТ (% от L)	59,8 ± 3,93	65,5 ± 4,95	58,7 ± 1,1	72,8 ± 3,22	60,0 ± 2,08
Печень	2,2 ± 0,49	2,66 ± 0,16	2,9 ± 0,1	3,83 ± 0,03	1,8 ± 0,03
Селезенка	0,6 ± 0,08	0,31 ± 0,03	0,25 ± 0,03	0,33 ± 0,09	0,17 ± 0,07
Плавательный пузырь	1,2 ± 0,11	1,07 ± 0,07	1,0 ± 0,03	0,93 ± 0,05	0,91 ± 0,07
Пилорическая железа	0,2 ± 0,02	0,14 ± 0,03	0,11 ± 0,01	0,15 ± 0,04	0,12 ± 0,02
Внутрен. жир	0,22 ± 0,02	1,34 ± 0,6	1,3 ± 0,12	1,2 ± 0,1	0,65 ± 0,07

Состояние печени достаточно широко используется для оценки физиологического состояния рыб. Ее величина зависит не только от возраста, пола, но и условий содержания. В исследованиях автора установлено, что с увеличением массы тела этот показатель возрастает с 2,2 до 2,7...3,8 % в вариантах 1...3. В 3 варианте этот показатель достоверно больше, чем в других. В варианте 4 индекс печени, напротив, снижается в процессе роста и его значения достоверно меньше, чем при других температурных условиях. Аналогично изменению индекса печени происходит и изменение относительной массы внутреннего жира.

Специфическим для осетровых рыб является наличие пилорической железы, выполняющей определенные функции в пищеварении. В целом, за весь период опыта у осетров происходит уменьшение этого показателя с 0,2 до 0,11 %. Следует отметить, что индекс этого органа у рыб по вариантам изменяется незначительно. Из изучаемых органов осетров менее всего подвержен изменениям индекс плавательного пузыря.

Индекс селезенки успешно используется как морфофизиологический индикатор качественного состава рыб. Уста-

новлено, что с ростом осетров происходит уменьшение этого показателя с 0,6 до 0,17...0,34 %. Более высокие значения этого показателя отмечены у особей в первом и третьем вариантах (0,33...0,31 %).

Особый интерес представляет показатели, определяющие товарные качества осетров. Анализ показателей интерьера рыб показывают, что минимальные значения этих индексов имеют осетры четвертого варианта. Однако, несмотря на достоверные отличия по некоторым показателям в этом варианте, по другим индексам (филе с кожей, мускулатуры, хребта и теши) достоверных различий не установлено. По мере роста рыб происходит увеличение относительной массы порки, тушки, головы, мускулатуры и других частей тела.

Индексы жабр, кожи, хребта и плавников уменьшаются. Представленные данные свидетельствуют о том, что температурные условия содержания оказывают влияние на изменения некоторых интерьерных показателей. Так, максимальные значения индексов сердца, ЖКТ, селезенки, плавательного пузыря, жабр и пилорической железы имеет рыба первого варианта, в котором температурные условия поддерживались близкими к естественным.

Таблица 6

Характеристика товарных качеств осетров (% к массе)

Показатель	В начале опыта	В конце опыта			
		вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 4
Масса рыбы, г	155 ± 6,84	682,7 ± 126,9	689,7 ± 51,1	683,7 ± 58,34	571,7 ± 31,86
Порка	85,02 ± 0,64	88,7 ± 1,22	88,9 ± 0,66	86,8 ± 1,06	91,4 ± 0,35
Тушка	52,6 ± 0,94	59,7 ± 1,82	59,3 ± 0,71	56,4 ± 1,22	60,6 ± 0,24
Голова	17,9 ± 0,93	20,8 ± 1,93	20,8 ± 1,0	22 ± 0,61	21,8 ± 0,17
Жабры	4,18 ± 0,32	2,2 ± 0,29	2,4 ± 0,33	2,5 ± 0,12	2,5 ± 0,1
Филе + кожа	45,08 ± 1,21	51,2 ± 1,38	53 ± 0,72	49,0 ± 1,86	54,2 ± 0,83
Кожа	12,3 ± 1,25	9,7 ± 0,84	7,8 ± 0,95	6,9 ± 0,18	7,3 ± 0,23
Мышцы	30,1 ± 1,74	36,4 ± 2,0	35,8 ± 0,74	34,6 ± 1,41	36,7 ± 1,19
Хребет	5,7 ± 0,29	4,73 ± 0,15	5,5 ± 0,75	5,3 ± 0,95	5,6 ± 0,35
Плавники	8,4 ± 0,33	5,2 ± 0,26	5,7 ± 0,06	5,27 ± 0,24	5,7 ± 0,15

Следует отметить воздействие астатических температурных режимов на изменение морфофизиологических и товарных характеристик осетра, особенно в четвертом варианте. В этом варианте по мере роста рыбы происходит увеличение значений порки, тушки и мускулатуры, что свидетельствует о лучшем формировании товарных качеств осетров, выращиваемых в этих условиях. Причем, у осетров в этом варианте опыта увеличение массы сердца, ЖКТ, печени, селезенки, плавательного пузыря и кожи происходит медленнее скорости увеличения их живой массы.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о существенном влиянии температурных условий на морфофизиологические и товарные качества сибирского осетра. При выращивании осетров в условиях постоянного (вариант 1) и переменных температурных режимов (варианты 2 и 3), формирование товарных качеств идет в менее желательном направлении, несмотря на более высокую скорость роста по сравнению с вариантом 4. В этих вариантах увеличение живой массы тела происходит в основном за счет более быстрого наращивания массы

внутреннего жира, кожи и печени.

Выводы

При выращивании двухлеток сибирского осетра астатичный терморезим позволяет повысить скорость роста рыб, снизить затраты корма. Наилучшим по основным рыбоводным показателям является терморезим, который близок к естественному, то есть повышение температуры воды с 8 ч. (19 °С) до 16 ч. (25 °С) при дальнейшем ее снижении.

Терморезим, при котором температура воды дважды в сутки (с 8 ч. до 14 ч. и с 20 ч. до 2 ч.) повышается с 19 до 25 °С, а в остальные часы соответственно снижается до прежнего уровня, позволяет поддерживать равномерный рост всех особей осетров в одном бассейне.

Суточный объем потребляемого осетрами корма составляет 1,9...2,0 % от их массы. Максимальное потребление корма рыбой отмечено в периоды с 6 до 8 ч. и с 10 до 11 ч. В ночное время осетры корм не потребляли.

Интенсивно растущие осетры, выращиваемые при астатичных терморезимах, потребляли на 10...29 % больше кислорода на единицу живой массы. Минимальное выделение аммонийного азота отмечено у рыб в варианте с терморезимом близким к естественному.

С ростом осетров и увеличением их массы происходит уменьшение относительной массы сердца с 0,25 до 0,16...0,17 %, желудочно-кишечного тракта – с 2,6 до 1,6...1,9 %, пилорической железы – с 0,2 до 0,1 % и селезенки – с 0,6 до 0,2...0,3 %. Астатичный терморезим бассейнов оказал влияние на изменения относительной массы некоторых внутренних органов рыб. Особо следует отметить, что в условиях, когда температура воды в бассейнах дважды в сутки повышалась и снижалась (вариант 4), рыба росла сравнительно медленнее, отмечено достоверно меньшее отложение внутреннего жира и меньшие индексы печени и селезенки по сравнению с другими вариантами.

Рекомендации производству

Для повышения роста двухлеток сибирского осетра при выращивании в искусственных условиях (бассейнах) можно рекомендовать астатичный температурный режим, при котором происходит повышение температуры воды в период с 8 ч. (19 °С) до 16 ч. (25 °С) и дальнейшее ее снижение к 8 ч. В целях получения ровного по массе посадочного материала осетров, что дает возможность сократить количество сортировок рыб, следует

использовать терморезим, при котором температура воды дважды в сутки (с 8 до 14 ч. и с 20 до 2 ч.) повышается с 9 до 25 °С, а в остальные часы, соответственно, снижается до прежнего уровня.

Библиографический список

1. Киселев А. Ю. Биологические основы и технологические принципы разведения и выращивания объектов аквакультуры в установках с замкнутым циклом водообеспечения: автореф. дис. ... д-ра. биол. наук. – М. 1999. – 62 с.
2. Константинов А. С., Шолохов А. М. Влияние осцилляции температуры на рост и эффективность конвертирования пищи у молоди сибирского осетра // Вестник МГУ: Биол. – 1990. – Сер. 16. – № 1. – С. 59–61.
3. Крылова В. Д. Биотехника товарного выращивания бестера и ленского осетра в трехлетнем цикле / Сб. научн. трудов ВНИ-ЭРХ. – Вып. 2. – М.: ВНИЭРХ, 2003. – 42 с.
4. Лукашик Н. А., Тащилин В. А. Зоотехнический анализ кормов. – М.: Колос, 1965. – 243 с.
5. Плохинский Н. А. Алгоритмы биометрии. – М.: МГУ, 1980. – 180 с.
6. Применение методик морфофизиологических индикаторов в экологии рыб / В. С. Смирнов, А. Н. Бошко, Л. П. Рыжков [и др.] / Труды СевНИОРХ. – Т. 7. – Петрозаводск: СевНИОРХ, 1972. – 168 с.
7. Строганов Н. С. Определение газообмена рыб / Руководство по методике исследования физиологии рыб: сб. трудов. – М.: Изд. АН СССР, 1962. – 285 с.
8. Шварц С. С., Смирнов В. С., Добринская Л. Н. Методы морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных / Труды института Экологии растений и животных УФ АН СССР. – Т. 58. – Свердловск: РИСО УФААН СсСр, 1968. – 378 с.
9. Шолохов А. М. Влияние динамики температуры на рост, конвертирование пищи и физиологическое состояние молоди осетровых: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М. – 24 с.

Материал поступил в редакцию 09.02.2016.

Сведения об авторах

Власов Валентин Алексеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры аквакультуры и пчеловодства; ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8(499)976-00-09; e-mail: vvlasov@timacad.ru.

V. A. VLASOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

THE INFLUENCE OF THE ASTATIC TEMPERATURE WATER REGIME ON THE GROWTH OF THE SIBERIAN STURGEON

The article considers the influence of fluctuations of water temperature on the growth and development of the Siberian sturgeon bred under the conditions of basins. It is established that fluctuations of the temperature regime influences the intensiveness of sturgeon growth and morphological indicators. When growing the two-year Siberian sturgeons the astatic thermo mode allows increase fish growth, decrease forage costs. The best on main piscicultural indicators is a thermo mode which is close to the natural one i.e. increasing of water temperature from 8 h. (19 °C) to 16 h. (25 °C) under its further decreasing. The thermo mode under which the water temperature decreases twice per day (from 8 h. to 14 h. and from 20 to 2 h.) increases from 19 to 25 °C, and during the other hours correspondingly decreases up to the former level allows maintain an even growth of all the species of sturgeons in one basin. The daily volume of the consumed fodder by fish is 1.9...2.0 % from their weight, and the maximal fodder consumption by fish was noted in the periods from 6 to 8 h. and from 10 to 11 h. During the night time sturgeons did not eat fodder. The intensively growing sturgeons grown under astatic thermo modes consumed by 10...29 % more oxygen per a unit of live mass. With the growth of sturgeons and increase of their weight there happens decreasing of the relative heart weight from 0.25 to 0.16...0.17 %, gastro-intestinal tract from 2.6 to 1.6...1.9 %, pyloric gland from 0.2 to 0.1 % and spleen from 0.6 to 0.2...0.3 %.

Siberian sturgeon, thermal mode, growth, development, exterior, chemical composition of muscles, product quality, morphological parameters

References

1. Kisilev A. Yu. Biologicheskiye osnovy i technologicheskiye printsiipy razvedeniya I vyrashchivaniya objektov aquaculture v ustanovkakh s zamknutym tselom vodoobespecheniya: avtoref. Diss....d-ra biol. nauk. – M. 1999. – 62 s.
2. Konstantinov A. S., Sholokhov A. M. Vliyaniye ostsilyatsii temperatury na rost I effektivnostj convertirovaniya pishchi u molodi sibirskogo osetra // Vestnik MGU: Biol. – 1990. – Ser. 16. – № 1. – S. 59–61.
3. Krylova V. D. Biotekhnika tovarnogo vyrashchivaniya bestera I lenskogo osetra v trehletnem tsikle / Sb. nauch. Trudov VNIERH. – Vyp. 2. – M.: VNIERH, 2003. – 42 s.
4. Lukashik N. A., Tashchilin V. A. Zootehnichesky analiz kormov. – M.: Kolos, 1965. – 243 s.
5. Plokhinsky N. A. Algoritmy biometrii. – M.: MGU, 1980. – 180 s.
6. Primeneniye metodik morfofiziolozhicheskikh indikatorov v ekologii ryb / V. S. Smirnov, A. N. Boshko, L. P. Ryzhkov [i dr.] / Trudy SevNIORH. – T. 7. – Petrozavodsk: SevNIORH, 1972. – 168 s.
7. Stroganov N. S. Opredeleeniye gazoobmena ryb / Rukovodstvo po metodike issledovaniya fiziologii ryb: sb. trudov. – M.: Izd. ANSSSR, 1962. – 285 s.
8. Shvarts S. S., Smirnov V. S., Dobrinskaya L. N. Metody morfofiziolozhicheskikh indikatorov v ekologii nazemnykh pozvonochnykh / Trudy institute Ekologii rastenij I zhivotnykh UF ANSSSR. – T. 58. – Sverdlovsk: RISO UF ANSSSR, 1968. – 378 s.
9. Sholokhov A. M. Vliyaniye dinamiki temperatury na rost, konvertirovaniye pishchi I fiziologicheskoye sostoyaniye molodi osetrovyyh: avtoref. diss.... Cand. biol. nauk. – M. – 24 s.

Received on 09.02.2016.

Information about the authors

Vlasov Valentin Alexeevich, doctor of agricultural sciences, professor of the chair of aquaculture and bee keeping; FSBEI HE RSAU – MTAA; 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, 49; tel.: 8(499)976-00-09; e-mail: vvlasov@timacad.ru.

Перечень требований и условий представления статей для публикации в журнале

Общие требования

К изданию принимается ранее не опубликованное автором произведение – научная статья, практическая или обзорная статья, научная рецензия и отзыв в следующие **рубрики** журнала:

- 05.23.00 Строительство и архитектура;
- 06.01.00 Агрономия;
- 06.03.00 Лесное хозяйство;
- 06.04.00 Рыбное хозяйство.

Разделы журнала соответствуют **Номенклатуре специальностей научных работников**, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 № 59 (в ред. Приказов Минобрнауки РФ от 11.08.2009 № 294, от 10.01.2012 № 5), и **Паспортам научных специальностей**, разработанных экспертными советами ВАК Минобрнауки России.

В редакцию журнала статья подается в **электронном виде** (файл формата Microsoft Word 97-2003). Текст статьи должен быть предварительно отредактирован автором или редактором, даты, формулы, имена и фамилии ученых, авторов литературных источников – выверены. Объем статьи не должен превышать 10–12 страниц. **Материал в статье следует излагать структурировано:**

- **введение;**
- **материал и методы;**
- **результаты и обсуждение;**
- **выводы (заключение);**
- **библиографический список.**

Журнал «Природообустройство» является **рецензируемым**. Все принятые статьи проходят процедуру обязательного рецензирования. Выбор рецензента осуществляет Редакционный совет. **Порядок рецензирования рукописей статей** размещен в сети Интернет по адресу <http://www.timacad.ru/deyatel/izdat/priroda/index.php>. Рецензии хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

Правила оформления

1. Статья должна представлять единый файл Microsoft Word 97–2003. Название файла – прописными буквами по фамилии первого автора.

2. Отступ справа, сверху и снизу –

2 см, слева – 2,5 см. Шрифт Times New Roman, по всей статье интервал 1,5 пт, шрифт 14. Нумерация страниц – по нижнему краю посередине, первая страница не нумеруется.

3. Вверху страницы ставят номер универсальной десятичной классификации (**УДК**): выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.

4. На следующей строке **инициалы и фамилии авторов**: шрифт полужирный, выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.

5. Указывается **официальное название места работы, город, страна**: шрифт обычный, выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.

6. **Название статьи** в прописном регистре, полужирный, выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.

7. **Аннотация** статьи на русском и английском языках: абзацный отступ 1,0 см; шрифт курсивный; выравнивание по ширине; рекомендуемый объем 200...250 слов (не более 2000 символов); необходимо осветить цель исследования, методы, результаты (желательно с приведением количественных данных), четко сформулировать выводы; не допускаются разбиение на абзацы и использование вводных слов и оборотов.

8. **Ключевые слова** на русском и английском языках: абзацный отступ 1,0 см; шрифт курсивный; выравнивание по ширине; рекомендуемый объем от 5 до 10 слов или словосочетаний.

9. **Автоматизированный перевод с помощью программных систем запрещается.**

10. Основной текст статьи должен быть набран шрифтом обычного начертания, абзацный отступ 1,0 см, интервал: перед и после – 0 см.

11. Буквы латинского алфавита – курсивного начертания, буквы греческого и русского алфавитов, индексы и показатели степени, математические символы $\lim$, $\lg$, $\ln$, $\sin$, $\cos$, $\min$, $\max$ и др., числа подобия – прямого начертания.

12. Обратить внимание на различие знаков: дефис «-», минус «-» и тире «—». Диапазон любых значений (...), кроме

периода лет (тире).

13. **Набор формул.** Использовать редактор формул Math Type 5.x либо Equation 3.0, шрифт Times New Roman, размер 11 пт, выравнивание по левому краю без абзацного отступа. Для удобства при верстке длина формулы не должна превышать 8 см. Нумеровать только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. **Суммарное число формул – не более 10.** Экспликация к формулам набирается шрифтом Times New Roman, размер 14 пт, без абзацного отступа, выравнивание по ширине страницы.

14. **Таблицы и рисунки** помещать за первой ссылкой на них в тексте, после абзаца. Выравнивание таблиц и рисунков по центру. Все таблицы и рисунки должны иметь ссылки с указанием номера (если рисунок и таблица единственные, то номер не указывается).

15. Толщина основных линий в таблицах – 0,25 пт. **Число таблиц** – не более 2. Номер таблицы: шрифт 11 пт, обычный, выравнивание по правому краю, без абзацного отступа. Название таблицы: шрифт 11 пт, полужирный, выравнивание по центру, без абзацного отступа.

16. **Рисунки** выполнять на компьютере в виде отдельного файла: в растровых форматах TIFF, JPG; в векторных форматах CDR, DWG, EPS. Выполнение рисунка средствами Microsoft Word не допускается. Ширина рисунка – не более 8 см, обозначения на рисунке делать шрифтом Times New Roman (9 пт). Рисунки с большим количеством деталей (сложные схемы, графики) размещать на всю ширину страницы (16,5 см). Фотографии выполнять с разрешением не менее 600 dpi. Допускается выполнение графиков и диаграмм в Microsoft Word 97–2003 и StatSoft Statistica 6.0 (и выше). Общее число рисунков (включая буквенное обозначение ее части) – не более 4. Текст подрисовочной подписи набирается шрифтом 14 пт, начертание полужирное, вырывание по центру или по ширине страницы; экспликация рисунка после знака «:» тем же шрифтом, начертание обычное.

17. **Обозначения, термины и иллюстративный материал** привести в соответствие с действующими государственными стандартами.

18. Статья должна обязательно содержать **вывод(ы)** (заголовок: шрифт 14 пт, начертание полужирное, выравнивание по центру, без абзацного отступа).

19. **Библиографический список** должен быть составлен в соответствии с последовательностью ссылок в тек-

сте. Ссылки на литературу по тексту помещать в квадратных скобках, в конце предложения перед точкой, оформлять по ГОСТ 7.0.5–2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». От основного текста список отделять пустой строкой с полуторным интервалом (начертание полужирное, выравнивание по центру, без абзацного отступа). Список нумеровать в порядке упоминания в тексте, каждый источник на отдельной строке, абзацный отступ – 0,5 см, выравнивание по ширине страницы, начертание обычное.

20. Все **аббревиатуры** необходимо пояснить – дать полный текст названия документа, организации, вида работ, процесса и др.

21. После библиографического списка на русском языке приводятся краткие сведения об авторах: Ф. И. О., ученая степень (звание), должность, контактный телефон, e-mail (шрифт курсивный, выравнивание по ширине страницы, без абзацного отступа, междустрочный интервал одинарный, Ф. И. О. выделяется полужирным курсивом).

Главные критерии при отборе материалов для публикации: соответствие рубрикам журнала, актуальность и уровень общественного интереса к рассматриваемой проблеме, новизна идей, научная и фактическая достоверность представленного материала, четкая формулировка предложенного и наличие выводов.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

При приеме статьи автор подписывает согласие на передачу Редакции периодического издания «Природообустройство» (ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева) прав на издание и распространение статьи без ограничения срока, района распространения журнала и без выплаты вознаграждения.

Для авторов из сторонних организаций обязательно наличие квитанции об оплате годовой подписки на журнал (индекс в каталоге «Пресса России» – 80746).

Прием статей

По вопросам публикации статей обращаться по телефонам: 8 (499) 976-36-67.

E-mail: priodamgup@mail.ru

<http://www.timacad.ru/deyatel/izdat/priroda/>

ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

2' 2016

Редактор, корректор – *М. С. Зверьков*

Ответственный за выпуск – *Н. Я. Филатова*

Переводчик – *Н. М. Логачева*

Верстальщик, художник – *М. С. Зверьков*

Подписано в печать 06.06.16
Формат 60×84/8
Шрифт SchoolBook
Усл.-печ. л. 13,86
Бумага офсетная
Печать цифровая
Тираж 750 экз.
Заказ
Цена договорная

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

Адрес: 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, ауд. 205
Тел. 8 (499) 976-36-67. E-mail: prirodamgup@mail.ru

Издательство РГАУ – МСХА
127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, дом 44
Тел. 8 (499) 977-00-12, 8 (499) 977-14-92