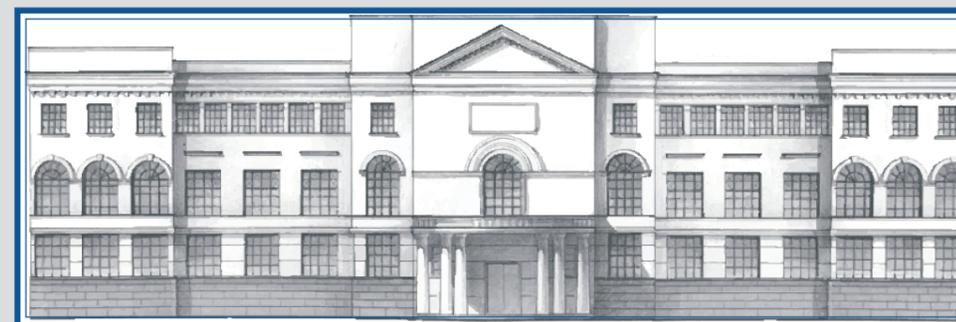


ISSN 1997-6011



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



# ПРИРОДОБУСТРОЙСТВО

Актуальные темы:

- СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГЭС И ГАЭС
- РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПО НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНОГО МЕЛИОРАТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
- МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОЕНИЯ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ МЕТОДОМ РЕГРЕССИЙ

ISSN 1997-6011



9 771997 601778 >

2' 2017

ISSN 1997-6011

# **ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО**

Научно-практический журнал

# **PRIRODOOBUSTROJSTVO**

Theoretical-practical journal

**2' 2017**

Москва, Издательство РГАУ-МСХА

Moscow, Publishing house  
of Russian Timiryazev State Agrarian University

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»*

## **ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО**

Научно-практический журнал **2' 2017**

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*  
*В.А. Власов,*  
*доктор сельскохозяйственных 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*  
*Н.Н. Лазарев,*  
*доктор сельскохозяйственных наук,*  
*А.М. Марголин,*  
*доктор экономических наук*  
*В.В. Пчёлкин,*  
*доктор технических наук*  
*И.П. Свинцов,*  
*доктор сельскохозяйственных наук*  
*В.И. Сметанин,*  
*доктор технических наук*  
*В.К. Хлюстов,*  
*доктор сельскохозяйственных наук*  
*Е.А. Ходяков,*  
*доктор сельскохозяйственных наук*  
*В.В. Шабанов,*  
*доктор технических наук*

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. Волосухин,* академик РАЕН, доктор технических  
наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ

*В.А. Евграфов,* доктор технических наук, профессор

*В.Я. Жарницкий,* доктор технических 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 подписная

Индекс журнала в Объединенном каталоге «Пресса России» – 80746

**УДК 502/504**  
**ББК 20.1**

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2017

**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»**

**PRIRODOOBUSTROJSTVO**

Theoretical-practical journal

**2' 2017**

**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*

*V.A. Vlasov,  
doctor of agricultural 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*

*N.N. Lazarev  
doctor of agricultural sciences*

*A.M. Margolin,  
doctor of economics*

*V.V. Pchylkin  
doctor of technical sciences*

*I.P. Svintsov,  
doctor of agricultural sciences*

*V.I. Smetanin,  
doctor of technical sciences*

*V.K. Khlyustov  
doctor of agricultural sciences*

*E.A. Khodyakov,  
doctor of agricultural sciences*

*V.V. Shabanov,  
doctor of technical sciences*

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

The authors 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 subscription

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

**UDC 502/504  
BBC 20.1**

© Russian Timiryazev State Agrarian University, 2017

## Содержание

### 05.23.00 Строительство и архитектура

<b>Соболев В.Ю.</b> Создание системы прогнозирования безопасности и надежности гидротехнических сооружений ГЭС и ГАЭС.....	6
<b>Черных О.Н., Сабитов М.А., Бурлаченко А.В.</b> Специфика реконструкции бесхозяйных плотин.....	12
<b>Жарницкий В.Я., Андреев Е.В.</b> Влияние данных наблюдений на прогноз состояния гидротехнического сооружения.....	20
<b>Козлов Д.В., Крутов Д.А.</b> Применение утеплителя в конструкции бетонных плотин, эксплуатирующихся в условиях сурового климата.....	27
<b>Мареева О.В., Кловский А.В.</b> Оценка эффективности способов усиления железобетонных колонн при реконструкции.....	33
<b>Фролов К.Е.</b> Результаты экспериментальных исследований изгибаемых железобетонных конструкций гидросооружений, усиленных углеродными лентами, по второй группе предельных состояний.....	42
<b>Рокочинский А.Н., Зубик Я.Я., Волкова Л.А., Трофимчук Д.Н.</b> Структура метеорологического обеспечения системного управления пропуском паводков в условиях Прикарпатья.....	48
<b>Зимнюков В.А., Зборовская М.И., Зайцев А.И.</b> Исследование работы глубинного водосброса с сегментным затвором.....	57

### 06.01.00 Агрономия

<b>Шабанов В.В., Маркин В.Н.</b> Районирование территорий по необходимости комплексного мелиоративного регулирования.....	63
<b>Поддубский А.А., Шуравилин А.В., Сурикова Н.В.</b> Влияние влагообеспеченности на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях Московской области.....	68
<b>Желязко В.И., Лукашевич В.М.</b> Получение высоких урожаев зерна и зеленой массы японского проса в условиях дождевания.....	75
<b>Краснощекоев В.Н., Ольгаренко Д.Г., Рожкова О.Н.</b> Изменение климата и сельское хозяйство России: проблемы и решения.....	80
<b>Мнатсакания А.А., Чуварлеева Г.В., Лесовая Г.М., Васюков П.П.</b> Регуляторы роста и микробиодобриения как элемент технологии при возделывании озимой пшеницы.....	88
<b>Ущапковский И.В., Петрова Л.И., Корнеева Е.М., Белопухов С.Л.</b> Изучение сроков посева льна-долгунца в условиях осушаемых земель.....	94
<b>Хлевный Д.Е.</b> Длина черенков лианы рода ampelopsis как один из определяющих факторов при размножении.....	100
<b>Юлдашев Х.У., Пулатов Я.Э.</b> Динамика минерализации и ионного состава оросительной и коллекторно-дренажной воды на мелиоративных объектах северного Таджикистана.....	107

### 06.03.00 Лесное хозяйство

<b>Хлюстов В.К.</b> Моделирование строения сосновых древостоев методом регрессий.....	113
------------------------------------------------------------------------------------------	-----

### 06.04.00 Рыбное хозяйство

<b>Власов В.А., Маслова Н.И., Серветник Г.Е.</b> Морфо-физиологическая характеристика маточного поголовья растительноядных рыб рыбхоза «Ергенинский».....	120
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

## Contents

### 05.23.00 Building and architecture

**Sobolev V.Yu.**

Creation of the forecasting system of safety and reliability of hydraulic engineering structures HPP and PSP ..... 6

**Chernyh O.N., Sabitov M.A., Burlachenko A.V.**

specific character of reconstruction of ownerless dams ..... 12

**Zharnitsky V.Ya., Andreev Ye.V.**

The influence of observation data on the forecast of the state of the hydraulic engineering structure..... 20

**Kozlov D.V., Krutov D.A.**

Application of heat insulation material in the structure of concrete dams operating under severe climate conditions ..... 27

**Mareeva O.V., Kloviskiy A.V.**

Assessment of the efficiency of strengthening of reinforced concrete columns during reconstruction ..... 33

**Frolov K.E.**

Experimental research results of the bendable reinforced concrete constructions of hydraulic structures strengthened with carbon tapes on the second group of limiting states..... 42

**Rokochinskij A.N., Zubik Ya.Ya., Volkova L.A., Trofimchuk D.N.**

Structure of meteorological support for flood discharge system management under the conditions of Prykarpattya ..... 48

**Zimnyukov V.A., Zborovskaya M.I., Zaitsev A.I.**

Investigation of the spillway culvert operation with a segment gate ..... 57

### 06.01.00 Agronomy

**Shabanov V.V., Markin V.N.**

Ranging of territories for justification of complex meliorative regulation..... 63

**Poddubsky A.A., Shuravilin A.V., Surikova N.V.**

Influence of moisture provision of productivity of agricultural crops under the conditions of the Moscow region ..... 68

**Zhelezko V.I., Lukashevich V.M.**

Obtaining high harvests and green mass of *Echinochloa frumentacea* under conditions of sprinkler irrigation ..... 75

**Krasnoshchekov V.N., Olgarenko D.G., Rozhkova O.N.**

Climate change and agriculture of Russia: problems and solutions ..... 80

**Mnatsakanyan A.A., Chuvarleeva G.V., Lesovaya G.M., Vasiukov P.P.**

Growth regulators and microbiofertilizers as an element of winter wheat cultivation technology ..... 88

**Ushchapovsky I.V., Petrova L.I., Korneeva E.M., Belopukhov S.L.**

Studying of flax seeding terms under the conditions of drained soils..... 94

**Khlevny D.Ye.**

Length of liana cuttings of ampelopsis kind as a determining factor at reproduction ..... 100

**Yuldashev H.U., Pulatov Ya.E.**

Dynamics of mineralization and ion contents in the irrigation water and collector-drainage flow on land reclamation projects in the northern Tajikistan..... 107

### 06.03.00 Forestry

**Khlyustov V.K.**

Pine stand texture simulation by the method of regressions ..... 118

### 06.04.00 Fishery

**Vlasov V.A., Maslova V.A., Servetnik G.Ye.**

Morphophysiological characteristics of uterine stock of herbivorous fish of the fish farm «Yergenskiy» ..... 126

## 05.23.00 Строительство и архитектура

УДК 502/504:627.8:69.059

**В.Ю. СОБОЛЕВ**

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений», г. Москва,  
Российская Федерация

### **СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГЭС И ГАЭС**

*В целях прогнозирования безопасности и надежности гидротехнических сооружений ГЭС и ГАЭС разрабатывается программно-аппаратный комплекс, включающий в себя информационно-диагностическую систему и расчетный модуль. На примере пилотного объекта (Загорских ГАЭС) представлено создание системы прогнозирования безопасности и надежности комплекса гидротехнических сооружений с грунтовым основанием. Основой комплекса является геологическая модель основания двух ГАЭС, в которой определена геологическая структура основания. На основе этой геологической модели строится геофильтрационная модель основания, для верификации которой из действующей информационно-диагностической системы (ИДС) передаются исходные данные по внешним воздействиям и данные наблюдений по пьезометрам в рассматриваемой области. В результате создания программно-аппаратного комплекса на основе ИДС создается единый расчетный модуль грунтового основания и бетонных сооружений двух ГАЭС, с помощью которого можно будет рассчитывать различные сценарии возможных воздействий, влияющих как на состояние основания, так и на состояние конструкций. Кроме того, в результате расчетов для существующей контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) будут определены критериальные значения показателей состояния. Предлагаемый проект архитектуры ПАК включает в себя следующие структурные компоненты верхнего уровня: информационно-диагностический блок (функционирующая ИДС с необходимыми модификациями); расчетный блок, объединяющий модели сооружений, геомеханические и геофильтрационные модели в единую подсистему; связующий модуль обмена данными между блоками; управляющий модуль адаптации (уточнения по данным КИА) математических моделей. Таким образом, предлагаемый подход к созданию системы прогнозирования безопасности и надежности ГЭС ГЭС и ГАЭС реализуется в виде блоков расчетных модулей и позволяет определять сценарии возможных воздействий, влияющих на основание и сооружения.*

*Надежность и безопасность, гидротехнические сооружения, грунтовое основание, система прогнозирования, программно-аппаратный комплекс, сценарии возможных воздействий.*

**Введение.** Целью работы является создание на примере пилотного проекта двух Загорских ГАЭС программно-аппаратного комплекса (ПАК) для мониторинга состояния гидротехнических сооружений (ГТС), а также для прогнозирования воздействий при выполнении инженерных мероприятий. Общая принципиальная схема такого комплекса приведена на рисунке 1.

#### **Основные принципы формирования ПАК**

Основой комплекса является геологическая модель основания двух ГАЭС, в которой определена геологическая структура основания и каждому элементу этой структуры которой присвоены физико-механические, а при необходимости – прочностные характеристики грунтов для всех элементов структуры.

На основе этой геологической модели строится геофильтрационная модель основания, где совершенно отчетливо должны быть обозначены структурные элементы основания, являющиеся вмещающими породами для фильтрационного потока.

Для верификации модели из действующей информационно-диагностической системы (ИДС) передаются исходные данные по внешним воздействиям и данные наблюдений по пьезометрам в рассматриваемой области.



Рис. 1. Принципиальная схема программно-аппаратного комплекса (ПАК)

После выполнения верификации на модели проигрываются заранее подготовленные сценарии изменения внешних воздействий. На основании этих результатов определяются предельно допустимые значения по каждому из пьезометров, установленных в основании. Полученные значения передаются в ИДС, и им присваивается статус критериальных значений. При поступлении новых пьезометрических значений система сравнивает их с критериальными показателями, и в случае превышения или одного, или нескольких показателей формируется сигнал опасности, требующий проверки и принятия мер. Полученные для различных сценариев фильтрационные режимы накладываются на геологическую модель для построения геомеханической модели. Основными действующими факторами являются изменения фильтрационных напоров и изменения характеристик грунтов, обводняемых при изменении депрессионной поверхности. На основании геомеханической модели определяется напряженно-деформируемое состояние основания и, в частности, в зоне оползневых склонов.

При существенном изменении (при различных сценариях) напряженно-деформированного состояния основания определяются показатели состояния и их критериальные значения.

Основными показателями состояния являются значения осадок и горизонтальных перемещений, наблюдаемые на водоприемниках и напорных трубопроводах. Критериальные значения осадок и горизонтальных смещений, полученные из различных сценариев, назначаются соответственно по осадочным меркам и маркам для створных наблюдений. Данные инклинометрических наблюдений рассматриваются как дополнительные, и по ним показатели состояния не назначаются. Полученное в результате расчетов напряженно-деформированное состояние в зоне водоприемников, здания ГАЭС и трубопроводов передается в ИДС и затем – в качестве исходных данных для расчета напряженно-деформированного состояния системы «Бетонное сооружение-основание» отдельных сооружений (модели сооружений разрабатываются с учетом имеющегося опыта моделирования гидросооруже-

ний Загорских ГАЭС [1-4]). Задачей расчетов является определение зон роста напряжений при различных сценариях деформирования основания и определения предельно допустимых значений деформации с точки зрения роста напряжений в конструкциях. Данные расчетов поступают в ИДС в качестве контролируемых показателей состояния железобетонных конструкций.

Таким образом, в качестве прогнозных моделей, определяющих поведение основания и конструкций, являются сценарии, принятые для расчетов фильтрационной модели, определяемые в свою очередь возможными внешними воздействиями при восстановлении здания ГАЭС или при развитии других неблагоприятных факторов.

В результате создания программно-аппаратного комплекса на основе ИДС создается единый расчетный модуль грунтового основания и бетонных сооружений двух ГАЭС, с помощью которого можно будет рассчитывать различные сценарии возможных воздействий, влияющих на состояние как основания, так и конструкций. Кроме того, в результате расчетов для существующей контрольно-измерительной аппарату-

ры (КИА) будут определены критериальные значения показателей состояния.

Все расчётные модели привязаны к ИДС. Визуализация результатов расчетных моделей происходит как через двумерную, так и трехмерную модели.

### Результаты разработки архитектуры ПАК

Предлагаемый проект архитектуры ПАК (рис. 2, 3) (табл. 1) включает в себя следующие структурные компоненты верхнего уровня:

1. Информационно-диагностический блок (функционирующая ИДС с необходимыми модификациями).
2. Расчетный блок, объединяющий модели сооружений (программный комплекс ANSYS), геомеханические (программный комплекс MIDASGTS) и геофильтрационные (программный комплекс MODFLOW) модели в единую подсистему.
3. Связующий модуль обмена данными между блоками 1 и 2.
4. Управляющий модуль адаптации (уточнения по данным КИА) математических моделей.

Таблица 1

#### Описание связей

Обозначение связи	Описание
A1	Данные КИА, информация по размещению и состоянию датчиков, данные натурных обследований, критериальные параметры безопасности
A2	Результаты расчетов: распределения перемещений, напряжений, гидродинамических напоров, коэффициенты запаса по прочности, устойчивости и надежности
A3, A4, A5	Потоки данных отдельных моделей (ANSYS, MIDASGTS, MODFLOW)
A6	Входные параметры моделей
A7	Выходные параметры моделей
B1	Жесткостные характеристики оснований, перемещения массива и поверхности грунта
B2	Массогабаритные характеристики сооружений, распределение давлений под фундаментом
B3	Поля противодавлений в основаниях сооружений
B4	Массогабаритные характеристики сооружений
B5	Механические и структурные характеристики грунтового массива
B6	Водонасыщенность грунта
C1	Показания КИА: перемещения, деформации конструкций, контактные напряжения, графики изменений температуры, напряжения в арматуре
C2	Поля расчетных перемещений, деформаций, напряжений, коэффициенты запаса прочности, устойчивости и надежности основных сооружений
C3	Осадки и горизонтальные смещения грунта (показания КИА)
C4	Расчетные перемещения оснований и склонов, характеристики устойчивости склонов
C5	Показания пьезометров, измерителей уровня воды, преобразователей фильтрационного давления
C6	Поля фильтрационных напоров

Модуль обмена данными представляет собой набор программ, организующих взаимодействие расчетных моделей и ИДС. Данный модуль инкапсулирует информацию о форматах данных, используемых ИДС и расчетными программными пакетами, параметрах моделей, особенностях функционирования (запуска на расчет, получения результатов) используемых программных комплексов. Таким образом, предлагается упростить схему взаимодействия ИДС с про-

граммным обеспечением, предназначенным для математического моделирования.

Модуль адаптации моделей управляет итерационным процессом уточнения связанных математических моделей сооружений/основания для обеспечения соответствия моделей данным КИА и натурных наблюдений. Модуль включает в себя процедуры оптимизации, калибровки численных моделей. Предлагаемый язык реализации – Python 3.4.

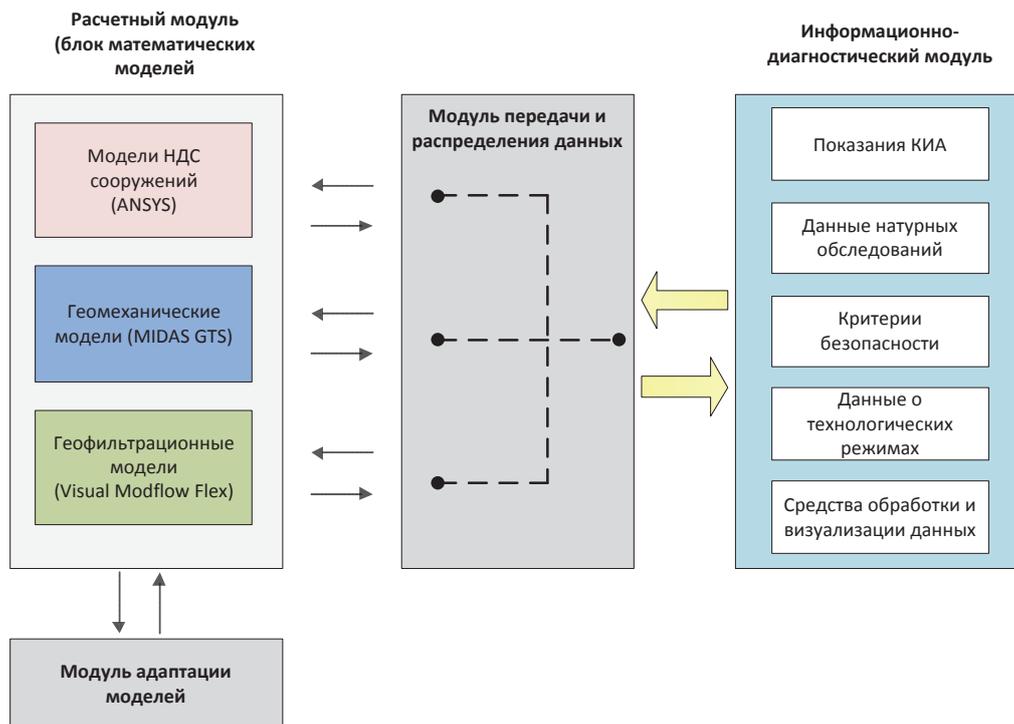


Рис. 2. Общая структурная схема ПАК (схема верхнего уровня)

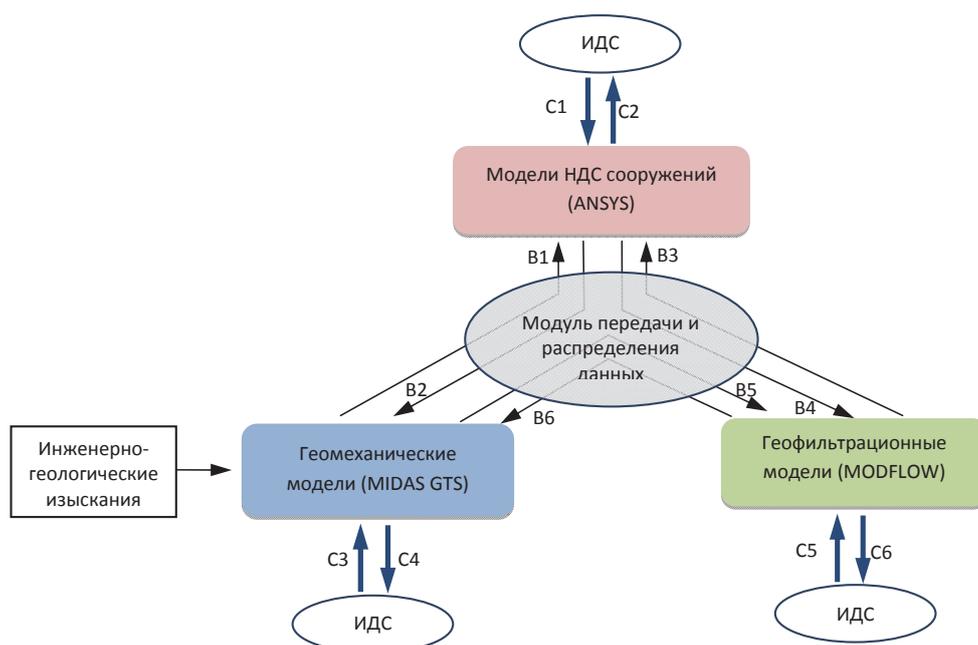


Рис. 3. Схема функционирования блока расчетных модулей



Рис. 4. Техническая архитектура ПАК

На рисунке 4 представлено предложение по технической реализации ПАК, составные части комплекса согласно этой схеме:

- Серверный модуль – обособленная часть ПАК, установленная вместе с ИДС на одном компьютере, получающая от нее данные.

- Клиентский модуль – модуль, устанавливаемый на компьютер, обслуживающий данную систему.

- Расчетный модуль – модуль, отвечающий за взаимодействие математических моделей, запуск расчетных программных комплексов, получение результатов от них и решение сопровождающие технических вопросов. Возможно совмещение расчетного модуля с клиентским или установка на вычислительный кластер.

- Клиентский компьютер – компьютер с установленным клиентским модулем, с которого возможен просмотр некоторых результатов расчетов, удаленный запуск расчета, настройка параметров расчета и т.д.

### Выводы

Предлагаемый подход к созданию системы прогнозирования безопасности и надежности ГЭС ГЭС и ГАЭС реализуется в виде блоков расчетных модулей и позволяет определять сценарии возможных воздействий, влияющих на основания и сооружения.

### Библиографический список

1. Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Атабиев И.Ж., Мельникова Н.И. Расчетные исследования устойчивости и прочности под-

порных стен первого яруса водоприемника Загорской ГАЭС // Природообустройство. 2012. № 2. С. 44-48.

2. Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Нефедов А.В., Черненко В.Н., Пономарев Д.И., Мукашпов Р.З., Лисичкин А.С. Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния подпорной стенки первого яруса ЛВ-1 водоприемника Загорской ГАЭС, в том числе с учетом данных синхронных замеров при суточном изменении уровня верхнего аккумулирующего бассейна // Безопасность гидротехнических сооружений. 2013. Вып. 18. С. 38-50.

3. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Нефедов А.В., Серая О.З., Чуприна Я.Н. Схема рационального армирования фундаментной плиты водоприемника Загорской ГАЭС-2 // Гидротехническое строительство. 2008. № 4. С. 12-16.

4. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Ильин Ю.А., Нефедов А.В., Розанова Н.В., Черненко В.Н. Оценка напряженно-деформированного состояния и прочности железобетонных конструкций компенсационных секций напорных водоводов Загорской ГАЭС // Гидротехническое строительство. 2001. № 9. С. 16-19.

Материал поступил в редакцию 17.03.2016 г.

### Сведения об авторе

**Соболев Вячеслав Юрьевич**, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по исследованиям и разработкам АО НИИЭС; 125362, Москва, Строительный проезд, 7а, тел.: 8-499-492-75-25, e-mail: sobolev.viy@niies.ru

V.YU. SOBOLEV

Joint stock company «Research institute of power structures», Moscow, Russian Federation

## CREATION OF THE FORECASTING SYSTEM OF SAFETY AND RELIABILITY OF HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURES HPP AND PSP

*With the purpose of forecasting safety and reliability of hydraulic engineering structures HPP (hydroelectric power plant) and PSP (pumped storage plant) a hardware-software complex (HSC) is under development which includes an information-diagnostic system (IDS) and computation module. By the example of the pilot object (Zagorsk PSP) creation of the system of safety and reliability forecasting of a complex of hydraulic structures with a soil foundation is presented. The base of the complex is a geological model of the foundation of two PSPs which determines the geological structure of the foundation. On the basis of this geological model a geofiltration model of the foundation is built which is verified using the data on external influences and information from piezometers obtained from the information-diagnostic system (IDS). As a result of creation of the hardware-software complex based on IDS there is created a united computation model of the soil foundation and concrete structures of two PSPs which can be used to calculate various scenarios of possible impacts influencing the state of both foundation and concrete structures. Moreover, using calculation results for the existing instrumentation there will be determined criteria of the condition values. The proposed design of the structure includes the following structural components – informational-diagnostic block (functional IDS with all necessary modifications), calculation block which unites modules of structures, geomechanical and geofiltration modules into a single subsystem; connection module of data interchange between modules; and a monitoring module of adaptation (more accurate data according to instrumentation) of mathematical models. Thereby the described approach to creation of the prediction system of the safety and reliability of HPP and PSP hydraulic structures is implemented in the way of several calculation modules and allows determining scenarios of possible impacts influencing the foundation and structures.*

*Reliability and safety, hydraulic engineering structures, soil foundation, system of forecasting, hardware-software complex, scenarios of possible impacts.*

### References

1. Lisichkin S.E., Rubin O.D., Atabiev I.Zh., Melnikova N.I. Raschetnye issledovaniya ustoychivosti i prochnosti podpornykh sten pervogo yarusy vodoproemnik Zagorskoj GAES // Prirodobustroystvo. 2012. № 2. S. 44-48.
2. Lisichkin S.E., Rubin O.D., Nefedov A.V., Chernenko V.N., Ponomarev D.I., Mukashov R.Z. Raschetnye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya podpornoj stenki pervogo yarusy LV-1 vodoproemnika Zagorskoj GAES, v tom chisel s uchetom dannykh sinhronnykh zamerov pri sutochnom izmetenii urovnya verhnego akumuliruyushchego bassejna // Bezopasnostj hidrotehnicheskikh sooruzhenij. 2013. Vyp. 18. S. 38-50.
3. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Nefedov A.V., Рубин О.Д., Seraya O.Z., Chuprina Ya, N. Schema ratsionaljnogo armirovaniya fundamentnoj plity vodoproemnika Zagorskoj

GAES-2 // Hydrotehnicheskoe stroiteljstvo. 2008. № 4. C. 12-16.

4. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Iljin Yu.A., Nefedov A.V., Rozanova N.V., Cheernenko V.N. Otsenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i prochnosti zhelezobetonnykh constructsij kompensatsionnykh septsij napornykh vodovodov Zagorskoj GAES // Hydrotehnicheskoe stroiteljstvo. 2001. № 9. S. 16-19.

The material was received at the editorial office  
17.03.2016

### Information about the author

**Sobolev Vyacheslav Yurjevich**, candidate of technical sciences, deputy director on research and developments AO NIIES; 125362, Moscow, Stroiteljny proezd, 7a, tel.: 8-499-492-75-25, e-mail: sobolev.viy@niies.ru

УДК 502/504: 621.644: 532.54

**О.Н. ЧЕРНЫХ**

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

**М.А. САБИТОВ**

Общество с ограниченной ответственностью «Эрленд», г. Москва, Российская Федерация

**А.В. БУРЛАЧЕНКО**

Акционерное общество «Мерседес-Бенц РУС», г. Москва, Российская Федерация

**СПЕЦИФИКА РЕКОНСТРУКЦИИ БЕСХОЗЯЙНЫХ ПЛОТИН**

*Рассматриваются подходы к оценке безопасности бесхозяйных низконапорных городских гидроузлов в условиях сложившейся городской инфраструктуры на территориях, присоединяемых к городским. Обсуждаются основные аспекты методического подхода к решению проблемы с бесхозяйными гидротехническими сооружениями на территории муниципального образования. На примере реконструкции плотины на р. Десне отмечены особенности комплекса мероприятий по реконструкции бесхозяйного гидроузла: диагностика действительного технического состояния бесхозяйного гидрокомплекса и его сооружений, количественная оценка фактических показателей качества конструкции, минимизированные сценарии; перечислен ряд технических, технологических и эксплуатационных мероприятий по реконструкции, экологической реабилитации и охране всего водного объекта в целом после реконструкции. Приведены результаты визуальных и инструментальных обследований водосливной плотины в Новомосковском административном округе Москвы и проектные предложения по её реконструкции и восстановлению всего водного объекта в целом. Разработаны предложения, позволяющие соблюсти требования безопасности ранее бесхозяйных ГТС, ввести их в эксплуатацию и практически снять вероятность возникновения чрезвычайной ситуации на низконапорном гидроузле.*

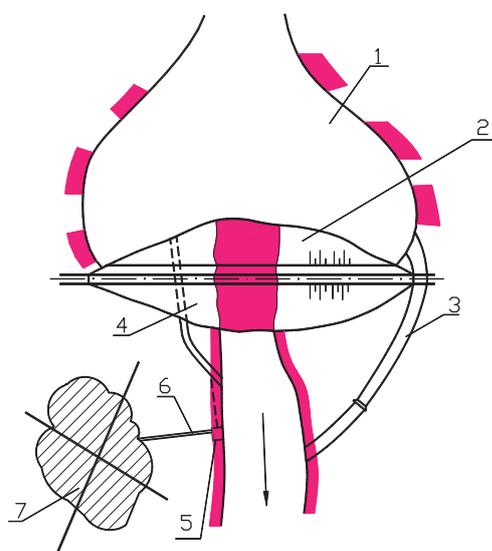
*Безопасность, водосбросная плотина, бесхозяйные гидротехнические сооружения, низконапорный гидроузел, чрезвычайная ситуация.*

**Введение.** Количество бесхозяйных гидротехнических сооружений (ГТС, которые не имеют собственника или собственник которых неизвестен, либо ГТС, от права собственности на которые собственник отказался) составляло в России, по данным Ростехнадзора на начало 2015 г., примерно 4,5 тыс. ед. [1]. В состав всего современного водохозяйственного комплекса РФ входит более 65 тыс. ГТС включая плотины, дамбы, защитные валы, каналы, трубопроводы, судходные шлюзы, насосные станции и проч. Из общего количества поднадзорных Ростехнадзору комплексов ГТС (всего 29964 ед.) промышленности, энергетики и водохозяйственного комплекса (28552 ед.) основное количество ГТС находится в ведении Министерства сельского хозяйства РФ (1481 ед.), в ведении Росводресурсов (884 ед.), прочие – 21710 ед. При этом в ведении Минсельхоза РФ находится 2,2 тыс. регулирующих гидроузлов, включающих в себя более 300 ГТС, 236 водохранилищ (из них преимущественно небольшие водохранилища объемом 1...10 млн м<sup>3</sup> 156 ед.) и прудов для мелиоративных и животноводческих

комплексов, рыбозаведения, эксплуатирующихся для местных, в том числе хозяйственно-бытовых и рекреационных нужд. Абсолютное большинство водоподпорных ГТС представлено плотинами малых и средних водохранилищ, многие из которых эксплуатируются с 60-х гг. прошлого века без реконструкции, ремонта и являются объектами повышенной опасности для населения и объектов экономики (рис. 1) [1, 3-6]. На данный период 97% ГТС отработали свой нормативный срок (для ГТС IV класса он составляет 50 лет). В государственной собственности находится около 1% всех ГТС. При этом в Российском регистре (РРГТС) на 2015 г. зарегистрировано более 15 тыс. ГТС, имеющих опасный уровень безопасности (15% от общего количества зарегистрированных комплексов ГТС), поднадзорных Ространснадзору, и около 400 тыс. (4,7%), поднадзорных Ростехнадзору.

Для обеспечения безопасности ГТС, в соответствии с Федеральным законом «О безопасности гидротехнических сооружений» (от 28.12.2013 г.) [2], эксплуатирующая организация осуществляет постоянный

и периодический контроль за техническим состоянием ГТС. При этом состав качественных и количественных контролируемых показателей, необходимых для определения критериев безопасности, обычно подвергается периодической корректировке. Такой подход позволяет разработать комплекс мероприятий по максимальному уменьшению риска возникновения чрезвычайных ситуаций на водном объекте. При отсутствии собственника и квалифицированного эксплуатирующего сооружения персонала эти затратные мероприятия, как и поддержание ГТС в нормальном техническом состоянии, выполнить нельзя.



**Рис. 1. Компоновочная схема низконапорного мелиоративного гидроузла при невозможности подачи воды на орошение при повреждении ГТС с прорывом напорного фронта [6]:**

- 1 – водохранилище;
- 2 – плотина из грунтовых материалов;
- 3 – открытый береговой водосброс;
- 4 – насосная станция;
- 5 – водовыпуск полезных попусков;
- 6 – оросительный канал;
- 7 – орошаемый участок

Анализ данных инвентаризации на начало 2015 г. показывает [1], что бесхозные ГТС водохозяйственного комплекса имеют преимущественно сельскохозяйственное назначение. Бесхозных ГТС энергетического, промышленного и транспортного назначения в России не выявлено. Поскольку на этих объектах, как правило, отсутствует проектно-сметная документация, а ГТС были сооружены предприятиями, прекратившими своё

существование, то такие ГТС не были своевременно поставлены на государственный учёт.

Следует отметить, что за последние 5 лет, с момента утверждения в 2009 г. «Водной стратегии РФ на период до 2020 г.», количество зарегистрированных бесхозных ГТС в целом сократилось на 27,4% за счёт как передачи их в собственность, так и ликвидации. Анализ годовых отчётов Ростехнадзора показывает, что ежегодно дополнительно выявлялось до 1900 бесхозных ГТС и ликвидировалось до 940 из них. Например, только в 2014 г. на учёт в органах государственной регистрации поставлено 678 бесхозных ГТС, передано в собственность, в том числе и муниципальных образований, 1393 ед., из которых с неудовлетворительным уровнем безопасности 294 ед., с опасным – 30 ед., ликвидировано 443 ГТС, из них 64 – с нормальным уровнем безопасности; 275 – с пониженным уровнем безопасности; 82 – с неудовлетворительным уровнем безопасности; 22 – с опасным уровнем безопасности. По состоянию на 1 января 2015 г. мероприятия по ликвидации выполнялись на 23 бесхозных ГТС, из них 1 – с понижен, 22 – с неудовлетворительным уровнем безопасности [1]. Однако распределение числа бесхозных ГТС по уровням безопасности за период с 2009 по 2015 гг. практически не изменилось (рис. 2), и тенденция сокращения числа опасных бесхозных ГТС не прослеживается явно. Доля сооружений с опасным уровнем за рассматриваемое время увеличилась примерно на 1%, при этом рост числа бесхозных сооружений в 2009-2011 гг. обусловлен активной работой Ростехнадзора по их выявлению.

Таким образом, в настоящее время проблема оценки технического состояния бесхозных ГТС, 99,5% которых относятся к IV классу, изменения и анализа их количественных, качественных показателей и уровня безопасности для решения их дальнейшей судьбы (передачи в частную собственность, собственность муниципальных образований, консервации либо ликвидации сооружений, находящихся в аварийном состоянии или утративших хозяйственную значимость, и проч.) является весьма актуальной, поскольку их последующая эксплуатация связана с повышенным риском возникновения гидрологических и гидродинамических аварий [4, 6]. Подавляющее большинство этих ГТС, даже имеющих собственника, не входит в сферу надзора, поскольку они, как правило, явля-

ются довольно небольшими сооружениями IV класса капитальности с напором менее 3 м, декларации безопасности на которые не разрабатываются. В то же время, с принятием уточнения Закона «О безопасности ГТС» от 25.01.2013 г. [2], ответственность за проведение капитального ремонта, консервации или ликвидации бесхозных ГТС возлагается на органы исполнительной власти субъектов РФ, на территории которых находятся эти сооружения. Финансиро-

вание этих полномочий предполагается осуществлять в рамках Федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012-2020 годах» путём выделения субсидий субъектам РФ на капитальный ремонт ГТС, находящихся в их собственности и в собственности входящих в их состав муниципальных образований. До 2020 г. включительно предусмотрено выделение 40,8 млрд руб. при ранее планируемом объеме финансирования 523 млрд руб.

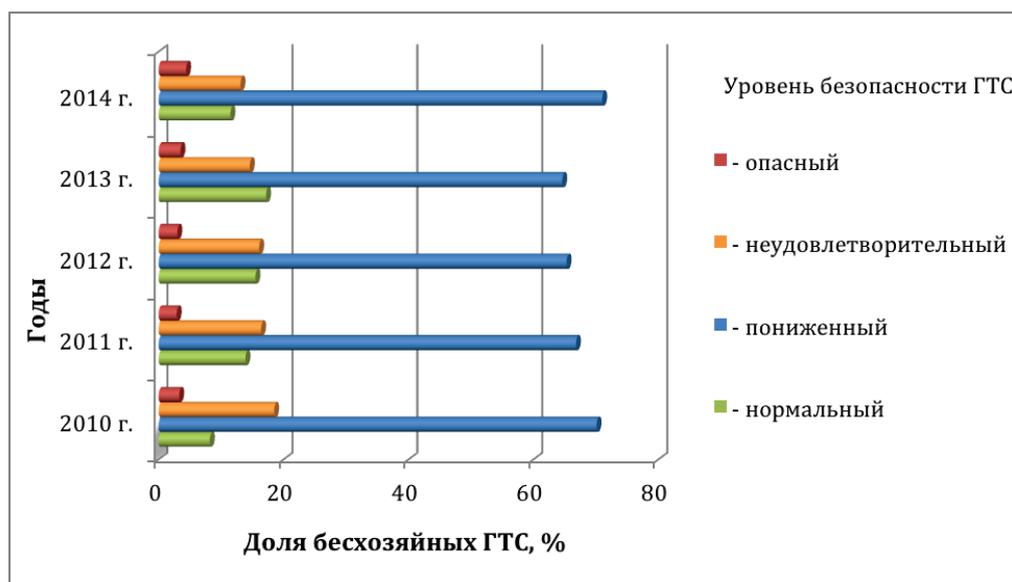


Рис. 2. Изменение доли бесхозных ГТС, зарегистрированных в РРГТС в период с 2009 по 2014 гг., с учётом уровня безопасности

**Материалы и методы исследования.** По данным выполненных в 1995-2015 гг. в МГУП и РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева обследований, установлено, что процент бесхозных прудовых гидроузлов в Московской области составляет от 49 до 68%, в зависимости от района, поскольку раньше они просто не ставились на учёт, а в Москве порядка 34% — бесхозные ГТС [3]. Многие плотины находятся в аварийном состоянии. Требуют капитального ремонта 87% бесхозных подмосковных прудовых гидроузлов, а в Москве — 91%. Некоторое количество прудов в Москве и области недоступно и не находит хозяйственного применения. В Москве это обусловлено полным зарастанием прудов, заболачиванием, захлапыванием или тем, что акватория и прибрежные территории огорожены. Небольшие водоёмы Подмоскovie в настоящее время независимо от первоначального назначения (орошение — 37%, удовлетворение различных потребностей местного населения и проч.) являются, как и в Москве, в основном рекреационными

(69%), поскольку в них купаются невзирая на отсутствие санитарно-гигиенических обследований. В этой связи есть ряд проблем, эффективность решения которых влияет на обеспечение не только надёжности работы ГТС и их безопасности, но и обобщённого социального риска на территориях мегаполиса, прилегающих к ГТС. Представляется, что в сложившейся ситуации решать проблемы бесхозных ГТС следует путем расширения практики передачи их в собственность, основанной на комплексном системном подходе. Кроме того, обязательно необходима организация проведения квалификационной подготовки собственников в сфере безопасности ГТС и обеспечения требуемого финансирования капитального ремонта бесхозных ГТС для приведения их к нормальному уровню безопасности [1, 3, 4, 6].

Обоснование решения о сохранении и дальнейшей эксплуатации или ликвидации бесхозных гидроузлов и ГТС должно проводиться на основании их технической, экологической и технико-экономической

оценки. При современном состоянии водотоков и водоёмов Центрального федерального округа [8], где ожидается уменьшение водных ресурсов до 15%, для сохранения водного потенциала прудов и малых водохранилищ для разных нужд становится всё более актуальным сохранение бесхозных водных объектов и определение их собственников. В ряде субъектов РФ сейчас наблюдается активный процесс постановки бесхозных ГТС на учет и обращения в муниципальную собственность. Однако новые владельцы ГТС в подавляющем своем большинстве не имеют необходимой квалификационной подготовки для обеспечения безопасной эксплуатации ГТС и поддержания их в нормальном техническом состоянии, соответствующем проектной и технической документации.

Сегодня только на территории Новой Москвы около 175 плотин, большая часть из которых – бесхозные. Большинство из них по месту расположения считаются собственностью г. Москвы и после юридической передачи сооружений в собственность должны будут находиться на балансе эксплуатирующей организации – ГУП «Мосводосток». Накопленный опыт обследований и оценки состояния ГТС позволяет рекомендовать выполнение разработки комплекса мероприятий по реконструкции бесхозного гидроузла в такой последовательности:

1. Установление действительного технического состояния сооружений гидроузла и его элементов; получение количественной оценки фактических показателей качества конструкции в результате визуального обследования с применением современных измерительных устройств на доступных для осмотра участках (проверка наличия характерных деформаций грунтовых и бетонных частей гидрокомплекса, составление схем внешних дефектов несущих конструкций с их фотофиксацией, линейные измерения); при инструментальном обследовании – контролирование параметров дефектов (трещины, раковины, сколы, разломы, участки коррозии арматуры и проч.) с использованием неразрушающих методов оценки прочности бетона, инструментальный контроль за раскрытием трещин (например, совместной ультразвуковой дефектоскопии с методом отрыва со скалыванием и др.); оценка состояния сооружений гидроузла в соответствии с РРГТС по уровню безопасности.

2. Для минимизации риска аварии – изучение не менее трёх сценариев выбора

оптимального решения по комплексу реконструкционных мероприятий: частичный или полный ремонт подпорного сооружения и водосброса; капитальный ремонт плотины и водосброса; реконструкция плотины, водосброса или всего гидроузла в целом. На заключительном этапе необходимо выбрать приоритетное направление использования гидроузла.

3. После принятия положительного решения о целесообразности восстановления плотины и её водопропускных сооружений – вычленение и разработка ряда инженерно-технических мероприятий по реконструкции основных ГТС и сооружений, косвенно включаемых в проект реконструкции: комплекс работ в верхнем бьефе плотины, на шельфовой части прудов; комплекс работ на плотине (глухой части и водопропускных сооружений); комплекс работ в нижнем бьефе; работа по обустройству прилегающей территории.

4. Техничко-экономический выбор наиболее оптимального варианта реконструкции с учётом накопленного опыта строительства низконапорных гидротехнических объектов в данном регионе, соответствия требованиям экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных и других действующих норм и правил обеспечения безопасной эксплуатации объекта для жизни и здоровья людей.

5. Разработка ряда технических, технологических и эксплуатационных мероприятий по реконструкции, экологической реабилитации и охране всего водного объекта в целом после реконструкции.

6. Разработка проектных решений в соответствии с действующими техническими регламентами, государственными нормами, правилами, стандартами, исходными данными, заданием на проектирование, а также техническими условиями и требованиями, выданными органами государственного надзора (контроля) и заинтересованными организациями при согласовании исходно-разрешительной документации; планирование мероприятий, обеспечивающих конструктивную надежность, взрывопожарную и пожарную безопасность объекта, защиту населения, защиту окружающей природной среды при его эксплуатации в соответствии с требованиями Градостроительного кодекса РФ.

**Результаты исследований.** Использование предлагаемого методического подхода рассмотрим на конкретном примере одной из бесхозных плотин IV класса –

бетонной водосливной плотины (напор – 2,7 м), расположенной на реке Десне (расчётный расход 5% составляет 140 м<sup>3</sup>/с, поверочный 1% – 180 м<sup>3</sup>/с), посёлок Фабрики имени 1 Мая, поселение Рязановское, Новомосковский административный округ г. Москвы.

Обследование данной плотины было проведено в июле 2015 г. Длина плотины составляет примерно 46 м, ширина – около 9 м. По плотине проходят инженерные сети (теплотрасса), её гребень служит переходом с одного берега р. Десны на другой. За водосливом плотины выполнен водобойный колодец со стенкой падения, практически совпадающей с низовой кромкой быков. На левом берегу, недалеко от плотины, в месте впадения в реку Десну водотока из небольшого пруда имеется открытый регулятор-переезд с направляющими, в которых установлен один шандорный брус.

Обследования показали, что в целом техническое состояние плотины является аварийным (рис. 3), а состояние прилегающей территории – удовлетворительным. Бетон видимых частей быков и устоев имеет практически все виды дефектов: защитный

слой быков разрушен, часть арматуры повреждена коррозией; 8 из 28 металлических направляющих щитовых затворов имеют осевое смещение. Один из участков рельсовых путей для тележки маневрирования шандорами отсутствует. Самой тележки с лебедкой тоже нет, поэтому маневрирование шандорами не проводится. Часть деревянных шандорных затворов пришла в негодность, сгнила, а часть отсутствует. Таким образом, даже при сбросе расчетных расходов пропускная способность плотины не будет обеспечена.

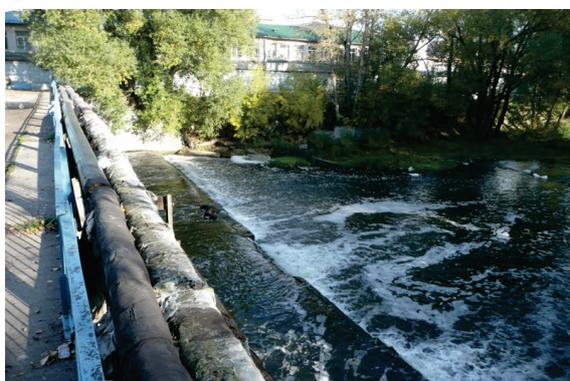
При осмотре направляющих со стороны нижнего бьефа было выявлено, что крепежные шарниры, удерживающие направляющие шандорных рядов, имеют существенные коррозионные разрушения и потеряли свою несущую способность; наблюдается осевое проворачивание направляющих, что неизбежно приведет к продавливанию шандорных рядов и прорыву плотины. Заилённость верхнего бьефа минимальна, бетонный понур разрушений и подмылов не имеет, причём в верхней части понура прощупывается бутовая отсыпка.



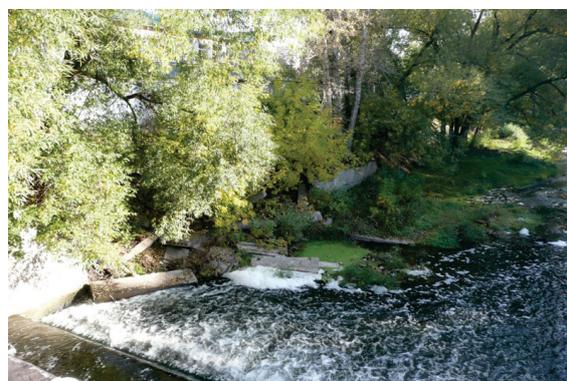
а



б



в



г

Рис. 3. Состояние железобетонной семипролётной водосбросной плотины на р. Десне, 2015 г.:

- а – верхний бьеф гидроузла; б – вид на быки и пролёты, разделённые двугавровыми стойками для перекрытия деревянными щитами; в-гребень плотины со стороны нижнего бьефа; г – дефекты на отводящем участке за плотиной

Из-за нарушенного состояния шандорных затворов, через которые происходит перелив воды с разными напорами, на водобое наблюдается неравномерное распределение удельных расходов, что при пропуске значительных расходов неизбежно приведет к существенному ухудшению сопряжения бьефов на водобое, сбойности течения в нижнем бьефе и размывам. Поверхность нижнего водосливного порога на 2/3 от правого берегового устоя разрушена. Наиболее сильные разрушения наблюдаются в створе между 3-м и 4-м быками плотины. Перед плотиной скопилось большое количество мусора включая стволы деревьев, которые есть и в водобойном колодце.

Ширина размыва концевой участка рисбермы составляет около 12 м с глубиной ниже проектной отметки на 1,1 м, подмыв водосливного порога и водобоя плотины – более 1 м. Крепление откоса за левобережным устоем полностью разрушено, железобетонные плиты отсутствуют на длине 15...20 м. Без проведения реконструкции образовавшаяся вымоина значительных размеров будет увеличиваться за счет воздействия как сбрасываемого через плотину потока, так и стекающих по крутому откосу поверхностными водами. С учетом близости разрушенного участка к левобережному устью плотины дальнейший размыв может

привести к его подмыву, недопустимым деформациям или даже обрушению.

В целом состояние плотины и остальных сооружений гидроузла согласно РРГТС соответствует опасному уровню [1].

Для обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации гидроузла, а также повышения уровня его безопасности рекомендовано проведение работ по реконструкции сооружений. В верхнем бьефе плотины проектом предусмотрено профилирование откосов левого и правого берегов, укрепление левого берега стенкой из металлического шпунта и ремонт железобетонной стенки правого берега с применением ремонтных технологий «БИРС» с последующим укреплением поверхности откосов георешеткой и посевом многолетних трав. Предложена реконструкция площадки с асфальтобетонным покрытием на подходах к плотине и грунтовой дороги, ведущей к ней; перекладка инженерных коммуникаций; благоустройство прилегающей территории (рис. 4). С целью усиления фильтрационной прочности основания плотины перед понуром рекомендовано устроить верховой зуб из шпунта ПВХ SP200 на глубину 2 м. Ремонт поверхности понура, освобождённого от старого, ветхого бетона, осуществляется при помощи ремонтных смесей «БИРС».

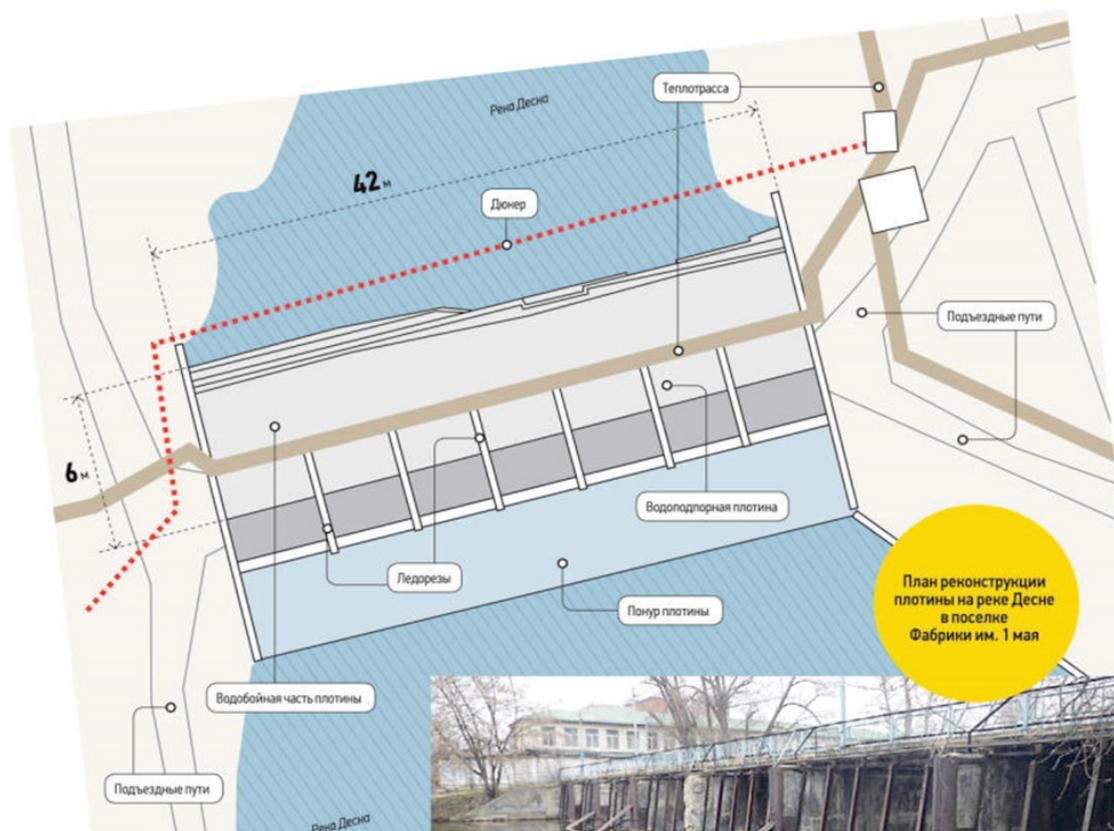


Рис. 4. План реконструкции русловой части плотины на р. Десне в посёлке Фабрики им. 1-го мая

Комплексом ремонтных работ по водосливной плотине предусматривается полный демонтаж верхнего пролетного строения мостовой конструкции (снимаются ограждение, асфальтовое покрытие, плиты пролетного строения); на быках плотины устраиваются обоймы; устои мостовой конструкции укрепляются вертикальной стенкой толщиной 400 мм с анкерровкой арматуры в старый бетон быков; для восприятия бокового давления от грунта перед устоями устраивается стенка из буронабивных свай диаметром 630 мм; поверхность плиты флютбета ремонтируется с помощью технологии «БИРС»; в пролетах плотины монтируются плоские щитовые затворы, поднимающиеся с помощью ручного привода. После окончания всех работ на мостовом сооружении восстанавливается участок теплотрассы, устанавливаются опоры освещения.

В верхнем бьефе плотины выполняется профилирование откосов левого и правого берегов, укрепление левого берега стенкой из металлического шпунта и ремонт железобетонной стенки правого берега с последующим укреплением поверхности откосов георешеткой и посевом многолетних трав. Предусмотрено восстановление бетонной поверхности понура, для чего выполняется полный демонтаж верхнего пролетного строения мостовой конструкции плотины.

В состав комплекса работ со стороны нижнего бьефа входит разборка железобетонных плит и монолитного железобетона поврежденных частей водобоя, замена поврежденных участков новым бетонным покрытием по технологии «БИРС». Восстанавливаются участки вымоин под флютбетом и гасители на водобойной части плотины. За плитой водобоя устраивается низовой зуб из шпунта ПХВ SP200 на глубину 2 м.

Для исключения опасных напряжений в ранее единой плите рисбермы (длиной 39 м) за водобоем на участке длиной 16 м устраиваются железобетонные плиты размером 4 м x 4 м с втрамбованным щебнем фракции 40...70 мм в основании, а оставшаяся часть рисбермы закрепляется щебнем фракции 40...70 мм и рваным камнем 150...500 мм, с упорным ковшом на конце. Левый и правый берег на участках от ныряющего устоя до конца рисбермы укрепляются стенкой из металлического шпунта Ларсен IV. Стенки из шпунта выполнены с обратной засыпкой материалом из рваного камня. Поверх камня укладывается местный грунт, георе-

шетка с посевом трав. За подпорной стенкой уложена дренажная хризолитоцементная перфорированная труба, обмотанная нетканым материалом типа «Тайпар» для разгрузки береговых откосов от поверхностных вод.

### Выводы

Для гидротехнических сооружений IV класса, особенно входящих в состав городских территорий разного использования, существенное значение имеет оценка их безопасности. В настоящее время для подавляющего их большинства, и в первую очередь для бесхозяйных ГТС, такая оценка не проводится, несмотря на то, что согласно Закону «О безопасности гидротехнических сооружений» они могут оказывать негативное влияние на окружающую среду и хозяйственные объекты, а также ущемлять законные интересы граждан.

При решении проблем с бесхозяйными ГТС главенствующую роль играет решение о его дальнейшей судьбе, порядке восстановления, реконструкции, консервации или ликвидации ГТС, с учётом системного окружения и перспектив градостроительного развития территории, которые определяет орган исполнительной власти. Анализ разработанных типизированных предложений показывает, что их реализация позволит соблюдать требования безопасности ранее бесхозяйных ГТС, ввести их в эксплуатацию и практически исключить вероятность возникновения чрезвычайной ситуации на водном объекте.

### Библиографический список

1. Годовой отчет о деятельности Ростехнадзора в 2014 году. [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/ГД.2014.pdf](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ГД.2014.pdf). 21.03.2016 г.
2. О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 117-ФЗ (ред. от 28.12.2013 г.) [Электронный ресурс]. – URL: <http://focdoc.ru/article/a-43.html> (дата обращения 16.05.2015 г.).
3. Алтунин В.И., Черных О.Н. Оценка безопасного состояния низконапорных гидроузлов в Москве // Вестник МАДИ. 2014. № 2. С. 81-87.
4. Черных О.Н., Волков В.И., Сабитов М.А., Алтунин В.И. О некоторых аспектах оценки размера вероятного вреда в результате аварии гидротехнических сооружений // Природообустройство. 2014. № 4. С. 46-52.

Материал поступил в редакцию 11.04.2016 г.

5. Черных О.Н., Алтунин В.И. Особенности технического мониторинга прудов на территории центра Москвы // Природообустройство. 2015. № 1. С. 66-71.

6. Волков В.И., Черных О.Н., Алтунин В.И., Секисова И.А. Оценка условий и последствий прорыва напорного фронта речного гидроузла: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 180 с.

7. Сабитов М.А., Черных О.Н., Алтунин В.И. Тенденции реконструкции малых водоёмов в черте мегаполисов // Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения: Материалы Международной научно-практической конференции. Ч. III. М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2011. С. 201-213.

8. Черных О.Н., Волков В.И., Алтунин В.И. Проблемы и пути решения вопросов обмеления малых водоёмов Московского региона // Природообустройство. 2015. № 5. С. 51-58.

#### **O.N. CHERNYH**

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

#### **M.A. SABITOV**

Limited liability company «Erlend», Moscow, Russian Federation

#### **A.V. BURLACHENKO**

Joint-stock company «Mersedes-Bents Rus», Moscow, Russian Federation

#### **Сведения об авторах**

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

**Сабитов Михаил Александрович**, инженер-гидротехник, генеральный директор ООО «Научно-внедренческая и проектная компания «Эрленд» (ООО «НВПК Эрленд»), 115093, г. Москва, ул. Люсиновская, дом 39, строение 5; тел.: 8 (499) 972-07-36, e-mail: sabitoffms@mail.ru

**Бурлаченко Алена Владимировна**, специалист АО «Мерседес-Бенц РУС», 125167, Москва, Ленинградский пр-т, 39А; тел.: 8 (499) 6180514; e-mail: alena.burlachenko@daimler.com.

## **SPECIFIC CHARACTER OF RECONSTRUCTION OF OWNERLESS DAMS**

*There are considered approaches to assessing the safety of low-pressure urban ownerless waterworks under the existing urban infrastructure in the areas annexed to the urban ones. There are discussed the main aspects of the methodical approach to solving the problem with the ownerless waterworks in the territory of the municipality. By the example of the dam reconstruction on the river Desna there are marked features of a complex of measures for reconstruction of ownerless waterworks: diagnostics of the actual state of art of the hydraulic complex and its facilities, a quantitative assessment of actual performance design quality, minimized scenarios; there is listed a number of technical, technological and operational measures for the reconstruction, ecological rehabilitation and environmental protection of the entire water object as a whole after the reconstruction. There are given results of visual and instrumental inspections of the spillway dam in the Novomoskovsk administrative district of Moscow and project proposals for its reconstruction and rehabilitation of the entire water object as a whole. Proposals are developed allowing to meet the safety requirements of previously ownerless HSs (hydraulic structures), to put them into operation and practically remove the probability of the emergency origin on a low-head hydraulic unit.*

*Safety, spillway dam, ownerless waterworks, low pressure hydraulic power system, emergency.*

#### **References**

1. Godovoj otchet o deyatelnosti Ros-tehnadzora v 2014 godu. [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/ГД.2014.pdf](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ГД.2014.pdf). 21.03.2016 г.

2. O bezopasnosti hidrotehnicheskikh sooruzhenij: Federaljny zakon ot 21.07.1997 g. № 117-FZ (red. ot 28.12.2013 g.) [Electronny resurs]. – URL: <http://focdoc.ru/article/a-43.html> (data obrashcheniya 16.05.2015 g.).

3. Altunin V.I., Chernyh O.N. Otsenka bezopasnogo sostoyaniya nizkonapornyh hy-drouzlov v Moskve // Vestnik MADI. 2014. № 2. S. 81-87.

4. Chernyh O.N., Volkov O.N., Sabitov M.A., Altunin V.I. O nekotoryh aspectah otsenki raz-mera veroyatnogo vreda v rezul'tate avarii hy-drotehnicheskikh sooruzhenij // Prirodoobust-roistvo. 2014. № 4. S. 46-52.

5. Chernyh O.N., Altunin V.I. Osobennosti tehničeskogo monitoring prudov na territorii tsentra Mosvy // Prirodoobustroistvo. 2015. № 1. S. 66-71.

6. Volkov V.I., Chernyh O.N., Altunin V.I., Sekisova I.A. Otsenka uslovij i posledstvij pro-ryva napornogo fronta rechnogo hy-drouzla: Uchebnoye posobie. M.: Izd-vo RGAU-MSHA, 2015. 180 s.

7. Sabitov M.A., Chernyh O.N., Altunin V.I. Tendentsii reconstructsii malyh vodoyomov v cherte megapolisov // тенденции рекон-струкции малых водоёмов в черте мегапо-лисов // Problemy razvitiya melioratsii i vod-nogo hoyaistva i puti ih resheniya: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-practicheskoy con-ferentsii. Ch. III. M.: FGOU VPO MGUP, 2011. S. 201-213.

8. Chernyh O.N., Volkov V.I. Altunin V.I. Problemy i puti resheniya voprosov obme-leniya malyh vodoyomov Moscovskogo re-giona // Prirodoobustroistvo. 2015. № 5. S. 51-58.

The material was received at the editorial office  
11.04.2016

#### Information about the authors

**Chernyh Olga Nikolaevna**, candidate of technical sciences, professor of the chair «Hy-draulic engineering structures», FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Bolshaya Academich-eskaya, d. 44; tel.: 8 (499) 190-53-43, e-mail: gtsmgup@mail.ru

**Sabitov Mikhail Alexandrovich**, hy-draulic engineer, general director ООО «Scien-tific-implementation and design company «Er-lend» (ООО «NVPK Erlend»), 115093, Moscow, ul. Lyusinovskaya, dom 39, stroenie 5; tel.: 8 (499) 972-07-36, e-mail: sabitoffms@mail.ru

**Burlachenko Alena Vladimirovna**, spe-cialist AO «Mercedes-Bents RUS», 125167, Mos-cow, Leningradsky pr-t, 39A; tel.: 8 (499) 6180514; e-mail: alena.burlachenko@daimler.com.

УДК 502/504:627.82.034.93

#### В.Я. ЖАРНИЦКИЙ, Е.В. АНДРЕЕВ

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

### ВЛИЯНИЕ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ

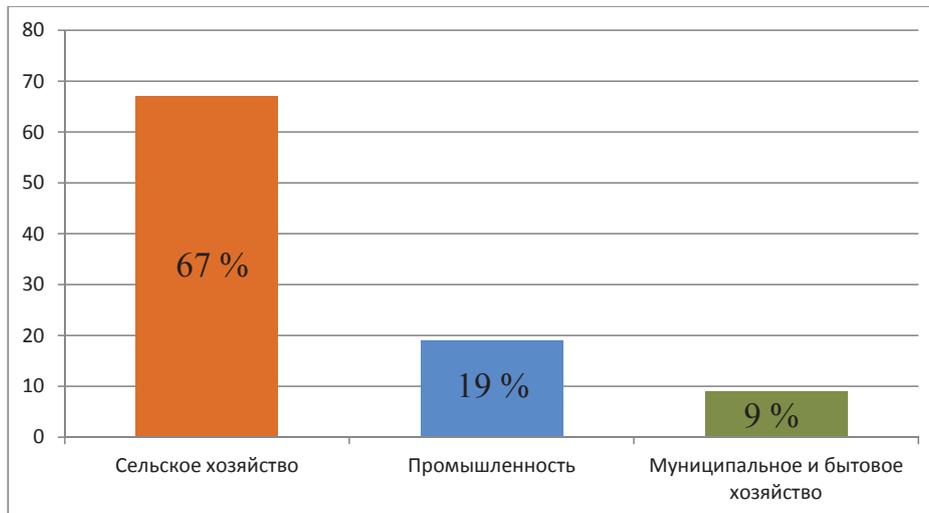
*Ввиду влияния на гидротехническое сооружение статических и динамических нагрузок возникает необходимость оперативной оценки степени воздействия этих нагрузок на тело плотины для предотвращения возможного разрушения гидротехнического сооружения, которое может привести к катастрофическим последствиям для объектов инфраструктуры, находящихся в нижнем бьефе напорного сооружения. В контексте математико-статистического аппарата анализа временных рядов и прогнозирования состояния гидротехнического сооружения следует исходить из того, что разрушение плотины имеет в определённой степени вероятностный характер ввиду малой изученности поведения тела сооружения в поле влияния кратковременных нагрузок. Наличие случайности в таких системах, как «Грунтовая плотина – основание», определяется чрезвычайно сложным сочетанием параметров, влиянием большого числа различных факторов действующих в разных направлениях и в разное время, и чаще всего – неизвестных. Такое сочетание факторов приводит в конечном счёте к большой вариации конечных показателей, особенно если рассматривать изменение физического состояния плотины во времени. В силу неоднородности свойств грунтов в теле сооружения появление случайной компоненты оценивается с определённой вероятностью. Если в статическом состоянии влияние нагрузок на гидротехническое сооружение просчитать несложно, пользуясь общеизвестными и принятыми методами, то при кратковременном динамическом воздействии на тело гидротехнического сооружения детерминированная компонента*

выражается некоторой аппроксимирующей функцией, отражающей закономерности развития разрушения сооружения. Поэтому прогноз эксплуатационного состояния гидротехнического сооружения по его временным рядам рассматривается из прогноза детерминированной компоненты и прогноза случайной компоненты.

*Низконапорные грунтовые плотины, уровень водопотребления, многофакторная модель, период наблюдений, временной ряд, прогноз, аппроксимирующая функция, нормированная автокорреляционная функция, фактические уровни временного ряда, прогнозируемые уровни временного ряда, коррелограмма.*

**Введение.** В XX в. было построено более 45 тыс. крупных плотин. Эти сооружения возводились в целях водоснабжения городов, орошения сельскохозяйственных земель, бытового или промышленного использования, выработки электроэнергии или для регулирования водного режима рек, направленного на сглаживание половодья и паводков. Плотины меняли конфигурацию и положение русел рек, оказывали влияние на доступ людей к водным ресурсам, их воздействие на окружающую среду и т.п. В настоящий момент из озёр, рек и водохранилищ мира ежегодно изымается около 3800 куб. км пресной воды, в два раза больше, чем 50 лет назад, что влечёт

за собой рост конкуренции между водопотребителями за удовлетворение растущего спроса. По их прогнозам, в глобальной перспективе усиление борьбы будет происходить между тремя отраслями: на сельское хозяйство – около 67% водопотребления; на нужды промышленности – 19%; на муниципальное и бытовое хозяйство – 9% (рис. 1). Аналитики утверждают, что перечисленные виды водопотребления будут продолжать изъятие воды, столь необходимой природным экосистемам. Кроме того, в сухом климате испарение из крупных водохранилищ, которое, по оценкам, близко к 5% от общего водопотребления, также существенно повышает объём безвозвратной потери воды [1].



**Рис. 1. Распределение уровней водопотребления по отраслям народного хозяйства**

Крупные водохранилища обычно накапливают часть паводка, что позволяет задерживать или управлять пиками стока. Это даёт возможность снизить вероятность совпадения паводковых пиков из различных притоков реки, прорыва дамб и преодолеть другие негативные последствия наводнений. Главным показателем эффективности борьбы с наводнениями является снижение их пика. Индикаторами в этой связи выступают снижение площади затопляемых земель, предотвращение челове-

ческих жертв, экономических потерь, негативных социальных последствий и других воздействий на жизнь и здоровье людей [1].

Ввиду влияния на гидротехническое сооружение статических и динамических нагрузок возникает необходимость оперативной оценки степени влияния этих нагрузок на сооружение для предотвращения возможного его разрушения, которое может привести к катастрофическим последствиям для объектов инфраструктуры и человеческим жертвам [2].

**Материалы и методы исследования.**

К плотинам из грунтовых материалов трудно применить конкретный метод оценки степени надёжности от влияния динамических нагрузок ввиду разности физико-механических свойств грунтовых материалов, из которых выполнено данное сооружение, наличия большого числа критериев, оказывающих влияние на конечный уровень надёжности гидротехнического сооружения [3].

В контексте математико-статистического аппарата анализа временных рядов и прогнозирования состояния гидротехнического сооружения можно исходить из того, что разрушение плотины имеет в определённой степени вероятностный характер ввиду малой изученности поведения тела сооружения в поле влияния кратковременных нагрузок. Наличие случайности в таких системах, как «Грунтовая плотина – основание», определяется чрезвычайно сложным сочетанием параметров, влиянием большого числа различных факторов действующих в разных направлениях и в разное время, и чаще всего – неизвестных. Такое сочетание факторов приводит в конечном счёте к большой вариации конечных показателей, особенно если рассматривать изменение физического состояния плотины во времени (например, геометрическая неизменяемость плоскости тела сооружения). В силу неоднородности свойств грунтов в теле сооружения появление случайной компоненты оценивается с определённой вероятностью.

В статическом состоянии влияние нагрузок на гидротехническое сооружение просчитать несложно, пользуясь общеизвестными и принятыми методами. При кратковременном динамическом воздействии на тело гидротехнического сооружения детерминированная компонента выражается некоторой аппроксимирующей функцией, отражающей закономерности развития разрушения сооружения.

Таким образом, прогноз эксплуатационного состояния гидротехнического сооружения по его временным рядам можно рассмотреть в двух направлениях: из прогноза детерминированной компоненты и прогноза случайной компоненты. Расчёт по первому направлению не представляется сложным, если известны начальные характеристики гидротехнического сооружения и силы, дей-

ствующие на него. Прогноз случайной компоненты более сложен, так как не ко всякой динамической компоненте можно применить законы стационарных систем, что значительно усложняет задачу оценки эксплуатационной надёжности. Если случайная компонента не является статичной, то приходится производить соответствующие преобразования путём ввода различных коэффициентов, прежде чем начинать расчёт, но при этом необходимо помнить о величине конечной точности результата, который находится в конкретных пределах и характеризует степень повреждённости гидротехнического сооружения.

При анализе временных рядов состояния гидротехнического сооружения и прогнозировании его конечного состояния часто возникает вопрос увязки статической составляющей с динамическими факторами влияния, когда необходимо правильно классифицировать динамическую составляющую процесса. Процесс воздействия на гидротехническое сооружение может хорошо описываться и почти не содержать случайных отклонений. Описание процесса может быть иным, если некоторые характеристики влияния растянуты во времени, по величине и продолжительности воздействия на тело сооружения. А может быть и так, что основное влияние на конечный результат будет зависеть от величины запаздывания во времени: например, квазидинамические нагрузки в результате взрыва в непосредственной близости от гидротехнического сооружения или в теле самого сооружения [4].

Исходя из этого возникает необходимость построения многофакторной модели оценки уровня эксплуатационной надёжности сооружения на основании корреляционного или регрессионного анализа данных. С учетом внутренней структуры грунтового напорного сооружения  $\delta_T$  по его реализации ( $y_t$ ) применяется автокорреляционная функция  $r_y(\tau)$ , которая представляет собой множество коэффициентов корреляции между временным рядом  $y_t$  и этим же рядом, сдвинутым относительно первоначального положения (сооружения в состоянии покоя) на  $\tau$  моментов времени. Нормированная автокорреляционная функция для временного ряда  $y_t$  определяется по нижеприведённой формуле [5]:

$$r_y(\tau) = \frac{(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t y_{t+\tau} - \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t \sum_{t=1}^{n-\tau} y_{t+\tau}}{[(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t^2 - (\sum_{t=1}^{n-\tau} y_t)^2][ (n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_{t+\tau}^2 - (\sum_{t=1}^{n-\tau} y_{t+\tau})^2]} \quad (1)$$

$$(t = 1, 2, \dots, n; \tau = 0, 1, 2, \dots, n-2;)$$

Величину  $\tau$  называют сдвигом. На рисунке 2 наглядно показано, как часто и с каким запаздыванием изменение показателя  $y_t$  скажется на последних его значениях. На рисунке указан коррелограмм, построенный известным английским статистом Д.Э. Юлом. Из него следует что каждое предыдущее значение временного ряда оказывает влияние на два последующих значения, причём это влияние постепенно уменьшается, а после восьмого сдвига приближается к нулю [4]. Таким же образом можно описать состояние грунтового массива после восприятия квази-

динамических нагрузок: например, после прохождения взрывной волны через сооружение, за один период времени, колебания сооружения продолжают в другой период времени и имеют тенденцию затухания. Такой отрезок времени может быть различен, в том числе из-за величины напорного фронта.

Для одновременного сравнения и анализа двух случайных процессов  $y_t$  и  $x_t$  по их реализациям  $(y_t)$  и  $(x_t)$  используется взаимная корреляционная функция. Нормированная взаимная корреляционная функция определяется по формуле [5]:

$$r_{yx}(\tau) = \frac{(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t x_{t+\tau} - \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t \sum_{t=1}^{n-\tau} x_{t+\tau}}{[(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} y_t^2 - (\sum_{t=1}^{n-\tau} y_t)^2][ (n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} x_{t+\tau}^2 - (\sum_{t=1}^{n-\tau} x_{t+\tau})^2]} \quad (2)$$

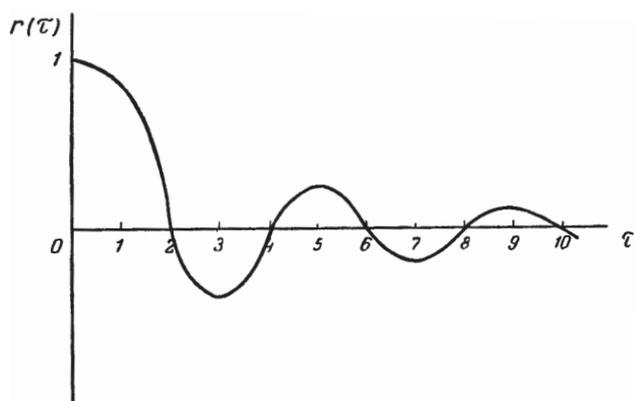


Рис. 2. График нормированной автокорреляционной функции после восприятия кратковременной нагрузки, приложенной к ГТС

Относительно прогнозов эксплуатационного состояния гидротехнического сооружения на основе данных наблюдений за более длительный период времени важно учитывать точность наблюдений, т.к. это может сказаться на величине конечного результата.

Таким образом, при построении многофакторной модели важную роль играет точность данных наблюдений, и критерием такой точности может служить средняя величина ошибки прогноза [4]

$$\bar{\varepsilon}_{np} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \left[ \frac{y_{n+i} - y_{n+i}^*}{y_{n+i}} \right] \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $y_{n+i}$  – фактические уровни временного ряда;  $y_{n+i}^*$  – прогнозируемые уровни временного ряда;  $n$  – период предыстории ( $n = 1, 2, \dots, N$ );  $l$  – прогнозируемый период ( $l = N + 1, N + 2, \dots, T$ ).

Точность прогноза может зависеть как от продолжительности периода предоставля-

емых данных об эксплуатационном состоянии гидротехнического сооружения, так и от величины прогнозируемого периода. При построении многофакторной модели расчёта можно учитывать зависимость средней ошибки прогноза от двух параметров  $n$  и  $l$  [4]:

$$\bar{\varepsilon}_{np} = f(n, l). \quad (4)$$

Процедура построения модели осуществляется следующим образом. Весь временной ряд  $t(t = 1, 2, \dots, T)$  разбивается на две части:

- первая –  $n(n = 1, 2, \dots, N)$  принимается за период предыстории;
- вторая –  $l(l = N + 1, N + 2, \dots, T)$  – за прогнозируемый период.

Для периода  $n$  строится модель прогноза  $y_t = a_0 + a_{1t}$ , по которой прогнозируются уровни временного ряда  $y_t$  на период  $l$ . С этой целью в полученное уравнение модели прогноза последовательно подставляют значения  $t$ , равные  $N + 1, N + 2, \dots, T$ , т.е. порядковые номера лет периода прогноза, и получают прогнозируемые уровни временного ряда на период  $l$ . По существу получается ретроспективный прогноз. Поскольку фактические значения временного ряда за период  $l$  известны, можно определить величину средней ошибки за этот период. Далее период предыстории увеличивается на один момент времени, т.е. его длина становится  $(n + 1)$ , а период прогнозирования тем самым уменьшается на единицу. Для временного ряда  $(n + 1)$  строится модель прогноза, по которой осуществляется прогнозирование на период  $l - 1$ , т.е. на  $N + 2, N + 3, \dots, T$ , и находится средняя ошибка прогноза. Такая процедура повторяется до тех пор, пока прогнозируемый период не будет равен

нескольким моментам времени, по которым ещё можно будет проверять ретроспективный прогноз, для низко- и средненапорных гидротехнических сооружений такой период должен составлять не менее 3-5 лет. В результате можно построить таблицу, в кото-

рой будут содержаться данные наблюдений за состоянием гидротехнического сооружения за пять лет для построения модели зависимости средней ошибки прогноза от длины периода предьстории и величины прогнозируемого периода [4].

Таблица 1

## Данные для построения прогноза

Средняя ошибка прогноза $\varepsilon_{\text{пр}}$	Величина периода предьстории $n$	Величина прогнозируемого периода $l$
$\overline{\varepsilon_{\text{пр}}^{(l)}}$	$n; (1, 2, \dots, N)$	$l; (N + 1, N + 2, \dots, T)$
$\overline{\varepsilon_{\text{пр}}^{(l-1)}}$	$n + 1; (1, 2, \dots, N + 1)$	$l - 1; (N + 2, N + 3, \dots, T)$
...	...	...
$\overline{\varepsilon_{\text{пр}}^{(l-p)}}$	$n + p; (1, 2, \dots, N + p)$	$l - p; (N + p + 1, N + p + 2, \dots, T)$

**Результаты исследования.** На примере временного ряда покажем динамику развития осадки средненапорного гидротехнического сооружения признанного впоследствии аварийным по данным наблюдений эксплуатирующей организацией за период с 1994 по 2015 гг. Величина осадки со-

оружения имеет тенденцию увеличиз из-за ошибок при проектировании и строительстве плотины, а также недостаточных мероприятий по изучению физико-механических свойств грунтов основания и отсутствия противофильтрационного устройства в составе сооружения [3].

Таблица 2

## Определение средней ошибки периода по данным наблюдений за 22 года

Годы	№ п/п	Осадка, мм	Относительные ошибки аппроксимации и прогноза в процентах						
			4	5	6	7	8	9	10
1994	1	10,2	+30	+38,1	+46,8	+52,5	+56,4	+62,6	+70,4
1995	2	12,1	+13	+17,8	+23,1	+26,5	+29,2	+33,3	+38,6
1996	3	13,9	-0,2	+2,2	+5,1	+7,2	+8,7	+11,4	+14,8
1997	4	16,0	-8,2	-7,7	-6,7	-5,8	-5,0	-3,6	-1,6
1998	5	19,0	-9,0	-9,0	-10,3	-10,3	-10,1	-9,6	-8,8
1999	6	22,5	-7,1	-8,9	-10,4	-11,0	-11,3	-11,5	-11,5
2000	7	24,9	-10,4	-13,1	-15,3	-16,5	-17,1	-17,8	-18,5
2001	8	28,9	-6,9	-10,0	-12,8	-14,3	-15,2	-16,3	-17,4
2002	9	33,3	-2,8	-6,4	-9,5	-11,3	-12,3	-13,7	-15,1
2003	10	38,3	+3,0	-0,7	-4,0	-5,9	-7,0	-8,5	-10,2
2004	11	45,5	+9,7	+6,1	+2,8	+0,8	-0,3	-1,9	-3,6
2005	12	50,9	+12,6	+8,9	+5,5	+3,4	+2,2	+0,6	-1,3
2006	13	57,3	+16,6	+12,7	+9,2	+7,2	+6,0	+4,2	+2,3
2007	14	61,0	+16,1	+12,1	+8,4	+6,2	+4,9	+3,1	+1,0
2008	15	61,9	+15,9	+11,7	+7,9	+5,7	+4,3	+2,3	+0,1
2009	16	72,4	+19,9	+15,9	+12,2	+9,9	+8,6	+6,6	+4,4
2010	17	80,0	+23,3	+19,3	+15,6	+13,4	+12,1	+10,1	+7,9
2011	18	84,8	+23,6	+19,6	+15,8	+13,6	+12,1	+10,3	+8,0
2012	19	87,5	+22,1	+17,9	+13,9	+11,7	+10,2	+8,1	+5,7
2013	20	89,7	+20,2	+15,8	+11,7	+9,3	+7,8	+5,6	+3,1
2014	21	95,2	+21,0	+16,9	+12,8	+10,3	+8,8	+6,6	+4,1
2015	22	100,3	+21,8	+17,4	+13,4	+10,9	+9,4	+7,1	+4,6

Такие ошибки приводят к образованию установившегося фильтрационного потока через основание сооружения, и как следствие – к суффозии грунта основания.

Основной период наблюдений за осадками гидротехнического сооружения был разбит на два равных отрезка времени, т.е.  $n = 11$ ;  $l = 11$ . Затем для отрезка исследуемого ряда за период с 1994 по 2004 гг. была построена линейная модель [4]:

$$y_t = 3,744 + 3,393t; (t = 1, 2, \dots, 11) \quad (5)$$

Подставляя в данное уравнение порядковые номера последующих лет ( $t = 12, 13, \dots, 22$ ), получаем относительные ошибки прогноза для каждого года за период с 2004 по 2015 гг. [4]:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{y_{n+1} - y_{n+1}^*}{y_{n+1}} \cdot 100. \quad (6)$$

По формуле 3 находится средняя ошибка прогноза для этого отрезка временного ряда. Относительные ошибки прогноза и средняя ошибка прогноза осадки плотины представлены в таблице 2 (ст. 4). Далее период предыстории был увеличен до 12 лет с 1994 по 2005 гг., построена модель прогноза

$$y_t = 2,670 + 3,641 t; (t = 1, 2, \dots, 12)$$

и осуществлена экстраполяция на период с 2006 по 2015 гг., в результате которой были определены относительные ошибки прогноза по годам и средняя ошибка прогноза (табл. 2).

Таблица 3

Связь средней ошибки аппроксимации с прогнозом

$\bar{\varepsilon}_{\text{ап}}$ – средняя ошибка аппроксимации	9,1	10,8	12,4	12,8	12,7	12,9	13,4
$\bar{\varepsilon}_{\text{пр}}$ – средняя ошибка прогноза	19,4	15,9	12,4	10,6	9,9	8,0	5,1

Модели прогноза осадки гидротехнического сооружения для всех проделанных этапов представлены в таблице 4; в таблице 2 представлены величины относительных и средних ошибок аппроксимации, а также относительных и средних ошибок прогноза.

В результате проделанных расчётов была получена информация для построе-

ния модели, характеризующей зависимость средней ошибки прогноза от длины периода предыстории, предоставленной эксплуатирующей организацией, и прогнозируемого периода осадки гидротехнического сооружения из-за установившегося процесса суффозии грунта основания обследуемого гидротехнического сооружения (табл. 5).

Таблица 4

Модели прогноза по этапам прогнозирования осадки ГТС

Период предыстории годы	Период прогноза (годы)	Уравнения для моделей прогноза
1994-2004 (11 лет)	2005-2015 (11 лет)	$y_t = 3,744 + 3,393t$
1994-2005 (12 лет)	2006-2015 (10 лет)	$y_t = 2,670 + 3,641t$
1994-2006 (13 лет)	2007-2015 (9 лет)	$y_t = 1,546 + 3,881t$
1994-2007 (14 лет)	2008-2015 (8 лет)	$y_t = 0,815 + 4,027t$
1994-2008 (15 лет)	2009-2015 (7 лет)	$y_t = 0,326 + 4,119t$
1994-2009 (16 лет)	2010-2015 (6 лет)	$y_t = -0,445 + 4,255t$
1994-2010 (17 лет)	2011-2015 (5 лет)	$y_t = -1,398 + 4,414t$

На основании данных таблицы 5 построена модель зависимости средней ошибки прогноза от периода предыстории и периода прогноза [5]:

$$\bar{\varepsilon}_{\text{пр}} = 3,960 - 0,441n + 1,841l. \quad (7)$$

Коэффициент множественной корреляции, равный 0,978, указывает на довольно тесную связь между средней ошибкой прогноза и обоими факторами. Вариация сред-

ней ошибки прогноза на 96,3% объясняется переменчивостью результатов периода предыстории и прогнозируемого периода, о чём свидетельствует величина коэффициента множественной детерминации ( $R^2 = 0,963$ ).

Данное уравнение показывает, что увеличение периода предыстории на один год снижает ошибку прогноза на 0,441%. В то же время увеличение прогнозируемого периода на один год ведёт к увеличению средней ошибки прогноза на 1,741% [4].

Таблица 5

**Средние ошибки прогноза  
и величина периода предыстории  
прогнозируемого периода состояния  
гидротехнического сооружения**

Средняя ошибка прогноза, %, $\varepsilon_{id}$	Период предыстории $n$ , лет	Период прогноза $l$ , лет
19,4	11	11
13,9	12	10
12,4	13	9
10,6	14	8
9,9	15	7
8,0	16	6
5,1	17	5

### Выводы

На основании приведённых данных можно заключить, что для повышения точности прогноза состояния гидротехнического сооружения необходимо сформировать многофакторную модель, которая будет учитывать совокупность факторов, влияющих на состояние сооружения. Главным образом на точность прогноза оказывает влияние совокупность периода предыстории данных наблюдений и периода прогноза. От этих величин в конечном счёте будет зависеть величина ошибки прогноза, а следовательно, и точность прогнозных данных.

### Библиографический список

1. Отчет Всемирной комиссии по плотинам. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2009. 200 с.

2. Жарницкий В.Я., Андреев Е.В. Анализ последствий разрушений гидротехнических сооружений в результате террористических актов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2015. № 1. С. 18-22.

3. Жарницкий В.Я., Андреев Е.В. Методы оперативного установления строительных показателей глинистых грунтов, уложенных в тело низконапорных плотин // Природообустройство. 2014. № 1. С. 44-49.

4. Кильдешев Г.С., Френкель А.А. Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Статистика, 1973. 104 с.

5. Жарницкий В.Я., Андреев Е.В. Опасность прорыва ГТС и затопления прилегающих территорий // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2015 № 2. С. 51-57.

Материал поступил в редакцию 14.10.2016 г.

### Сведения об авторах

**Жарницкий Валерий Яковлевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Основания и фундаменты, строительство и экспертиза объектов недвижимости» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44; e-mail: zharnitskiy@mail.ru; тел.: +7-905-720-30-72.

**Андреев Евгений Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Основания и фундаменты, строительство и экспертиза объектов недвижимости» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44; e-mail: andreev-rf@mail.ru; тел.: +7-929-648-09-27.

**V.YA. ZHARNITSKY, YE.V. ANDREEV**

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

## THE INFLUENCE OF OBSERVATION DATA ON THE FORECAST OF THE STATE OF THE HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURE

*In view of the influence of static and dynamic loads on the hydraulic engineering structure there arises a need of the operational assessment of the influence extent of these loads on the dam body for prevention of possible destruction of the hydraulic engineering structure which can lead to the disastrous consequences for the infrastructure objects being downstream of the pressure construction. In the context of the mathematical-statistical device of the analysis of time series and forecasting of a condition of the hydraulic engineering structure it is possible to recognize that destruction of a dam has in a certain degree a probabilistic character due to the insufficient knowledge of the behavior of the construction body in the field of influence of short-term loads. The availability of randomness in such system as «Soil dam- foundation» is determined by an extremely complex combination of parameters, influence of a big number of different factors acting in different directions and at different time, and more often – unknown. Such combination*

*of factors finally results in a large variation of final indicators, especially if to consider changing of the physical state in time. Due to the heterogeneity of soil properties in the construction body the appearance of a random component is assessed with a definite probability. If in the static state it is not difficult to calculate the influence of loads on the hydraulic structure using well-known and accepted methods, under a short-term dynamic impact on the body of the hydraulic structure the determined component is expressed by some approximate function reflecting natural development of the structure destruction. Therefore the forecast of the operational condition of the hydraulic engineering construction according to its temporal series is considered from the determined component forecast and forecast of a random component.*

*Low pressure soil dams, water consumption level, multiple – factor model, the period of observations, time series, forecast, approximating function, rated autocorrelated function, the actual levels of time series, forecast levels of time series, correlogram.*

### References

1. Otchet Vsemirnoj commissii po plotinam. M.: Vsemirny fond dikoj prirody (WWF), 2009. 200 s.
2. Zharnitsky V.Ya., Andreev E.V. Analiz posledstvij pazrushenij hidrotehnicheskikh sooruzhenij v rezultate terroristicheskikh actov // Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotosjemka. 2015. № 1. S. 18-22.
3. Zharnitsky V.Ya., Andreev E.V. Metody operativnogo ustanovleniya stroitelnyh gruntov, ulozhennyh v telo nizkonapornyh plotin // Prirodoobustrojstvo. 2014. № 1. S. 44-49.
4. Kiljdeshev G.S., Frenkel A.A. Analiz vremennyh ryadov i prognozirovanie. M.: Statistika, 1973. 104 s.
5. Zharnitsky V.Ya., Andreev E.V. Opasnostj proryva GTS i zatopeniya privileguyushchih territorij // Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotosjemka. 2015 № 2. S. 51-57.

The material was received at the editorial office on 14.10. 2016

### Information about the authors

**Zharnitsky Valerij Yakovlevich**, doctor of technical sciences, professor of the chair «Bases and foundations, building and expertise of objects of real property» FSBEU-HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, d. 44; e-mail: zharnitskiy@mail.ru; тел.: +7-905-720-30-72.

**Andreev Yevgenij Vladimirovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Bases and foundations, building and expertise of objects of real property» FSBEUHE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. B. Academicheskaya, d. 44; e-mail: andreev-rf@mail.ru; tel.: +7-929-648-09-27.

УДК 502/504: 627.82.042: 624.15: 536.2

### Д.В. КОЗЛОВ

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

### Д.А. КРУТОВ

Негосударственное образовательное учреждение «Корпоративный институт ПАО «Газпром», г. Москва, Российская Федерация

## ПРИМЕНЕНИЕ УТЕПЛИТЕЛЯ В КОНСТРУКЦИИ БЕТОННЫХ ПЛОТИН, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ СУРОВОГО КЛИМАТА

*Приведены результаты расчетов теплопроводности для оценки эффективности утеплителя, уложенного в галереях бетонной плотины Богучанской ГЭС. После получения распределения температур в плотине решалась задача напряженно-деформированного состояния, по результатам которой определялось необходимое количество арматуры. Полученные результаты имеют практическую значимость: 1) для оценки снижения сезонных колебаний температуры в конструкциях плотины; 2) для оценки уменьшения количества арматуры при использовании утеплителя. Самое неблагоприятное напряженно-деформированное состояние бетонных гравитационных и контрфорсных плотин, возведенных в районах с суровыми климатическими условиями, обусловлено максимальным раскрытием строительных*

швов на низовой грани в зимний период. В случае применения утеплителя у бетонных гравитационных и контрфорсных плотин минимизируется раскрытие строительных швов на низовой грани в зимний период, а у тонкостенных конструкций гидротехнических сооружений (станционные секции, турбинные водоводы) можно уменьшить количество силовой арматуры. Избежать трещинообразования в таких конструкциях не удастся. Бетон водоводов, затронутый трещинами, будет деградировать, что может привести к перераспределению усилий в арматуре: уменьшению усилий, воспринимаемых арматурой наружной грани и увеличению усилий, воспринимаемых арматурой внутренней грани. Для обеспечения долговременной работы тонкостенных железобетонных конструкций плотин эффективной мерой по снижению температурных воздействий на бетон будет являться применение утеплителя. В случае размещения утеплителя со стороны наружных граней это также позволит уменьшить и влажностные воздействия на конструкции.

*Применение утеплителя в конструкции бетонных плотин, армирование тонкостенных конструкций, меры по снижению сезонных колебаний температуры.*

**Введение.** В работах [1, 2] показано влияние отрицательной температуры на раскрытие горизонтальных строительных швов со стороны низовой грани гравитационных плотин. В суровых климатических условиях глубина раскрытия швов может составлять от 3 до 5 м. Поэтому размещение галерей вблизи наружных граней бетонных плотин, эксплуатирующихся в суровом климате, нежелательно. Тем не менее при проектировании бетонной плотины Богучанской ГЭС не удалось поместить галереи внутри бе-

тонного массива. Предусмотренные проектом технологические галереи расположены в непосредственной близости от наружных граней в верхней части плотины на отметке 210 м. Одна галерея расположена со стороны нижнего бьефа, вторая – со стороны верхнего. Таким образом, над галереями, а также со стороны нижнего бьефа образованы тонкостенные конструкции: перекрытия 1, 2 и стенка 1. Толщины этих тонкостенных конструкций составляют: перекрытие 1-45 см, перекрытие 2-75 см, стенка 1-55 см (рис. 1).

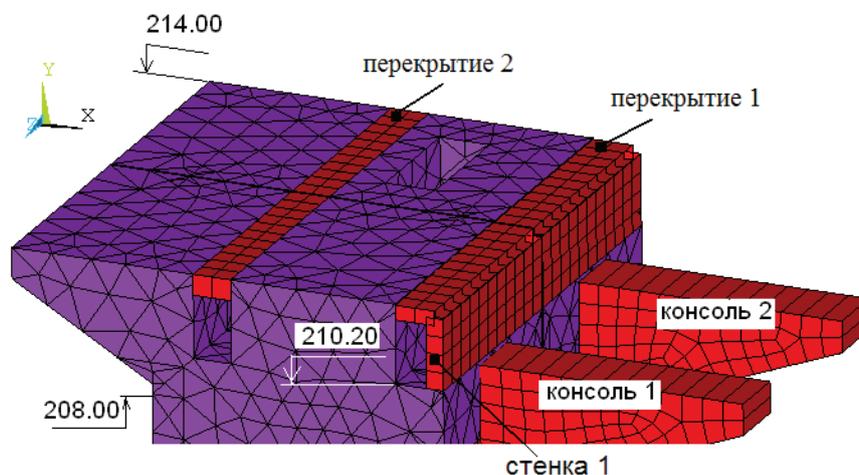


Рис. 1. Конструкция гребня плотины Богучанской ГЭС

Зима в районе строительства Богучанского гидроузла продолжительная и холодная. Отрицательная среднемесячная температура воздуха держится в течение 7 мес. (с октября по апрель). Среднегодовая температура воздуха составляет  $-3,2^{\circ}\text{C}$ . Максимальные температуры наблюдаются в июле, минимальные – в декабре-январе. Абсолютный максимум достигал  $+38,0^{\circ}\text{C}$ , абсолютный минимум –  $-56,0^{\circ}\text{C}$ .

В условиях, когда по технологическим требованиям перенести галереи в глубь бетонного массива оказалось невозможным, было принято решение применить утеплитель. Утеплитель толщиной 25 см устанавливался по боковым стенам, по полу и потолку с внутренней стороны галерей (рис. 2).

**Методы исследований.** Для оценки снижения перепада температур за счет использования утеплителя были выполнены

расчеты теплопроводности, по результатам которых получены распределения температур в плотине для четырех сочетаний нагрузок и воздействий:

- основное (с утеплителем и без утеплителя) для года со средней амплитудой

колебаний среднемесячных температур воздуха;

- особое (с утеплителем и без утеплителя) для года с максимальной амплитудой колебаний среднемесячных температур воздуха.

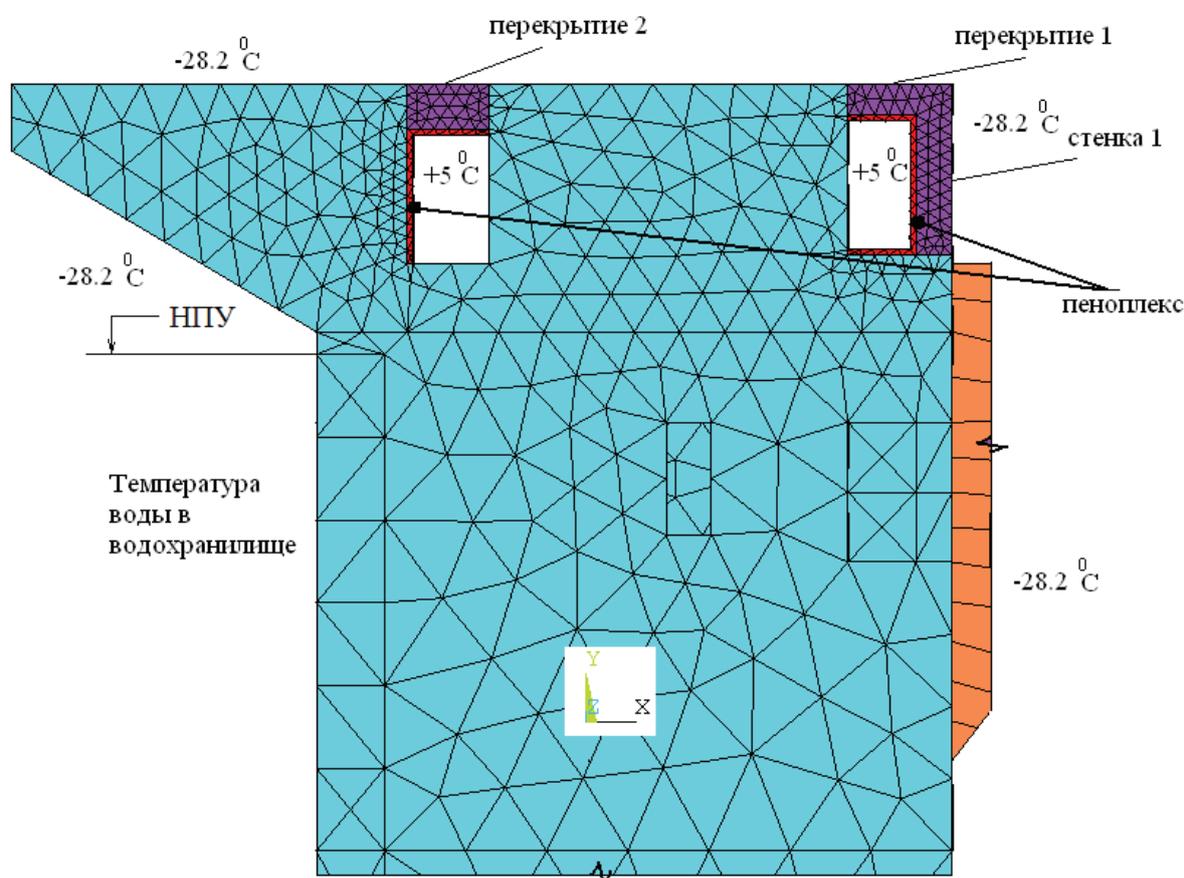


Рис. 2. Расчетная схема при решении задачи теплопроводности

Моделировался утеплитель пеноплекс-35 (элементы типа Solid). Перекрытия и стенка в задаче теплопроводности также моделировались элементами Solid. Расчетная температура определялась по результатам решения нестационарной задачи теплопроводности за 15 мес., при изменении температуры воздуха от среднегодовой в октябре ( $-3,2^{\circ}\text{C}$  – для среднего по температурным условиям года;  $-15,4^{\circ}\text{C}$  – для особого по температурным условиям года) до температуры самого холодного месяца-января. Колебания температуры воды в водохранилище принимались одинаковыми как для среднего по температурным условиям года, так и для особого. В галереях на отметке 210,0 м задана неснижаемая положительная температура плюс  $5,0^{\circ}\text{C}$ .

После получения распределения температур в плотине, стенке и перекрытиях решалась задача напряженно-деформиро-

ванного состояния, по результатам которой определялось распределение арматуры. Расчеты напряженно-деформированного состояния выполнялись на основе метода конечных элементов в трехмерной линейно-упругой постановке. При решении задачи напряженно-деформированного состояния перекрытия и стенка моделировались Shell-элементами.

Расчеты арматуры выполнены с использованием специализированной компьютерной программы Института «Гидропроект».

**Результаты исследований.** На рисунках 3 и 4 показано распределение температур в стенке 1 и перекрытии 1 в январе среднего по температурным условиям года.

Результаты исследований указывают на то, что на внешних гранях установилась минимальная температура наружного воздуха в январе  $-28,2^{\circ}\text{C}$ . Перепад в стенке 1 составляет  $8,0^{\circ}\text{C}$ , перепад в перекрытии 1- $20,0^{\circ}\text{C}$ .

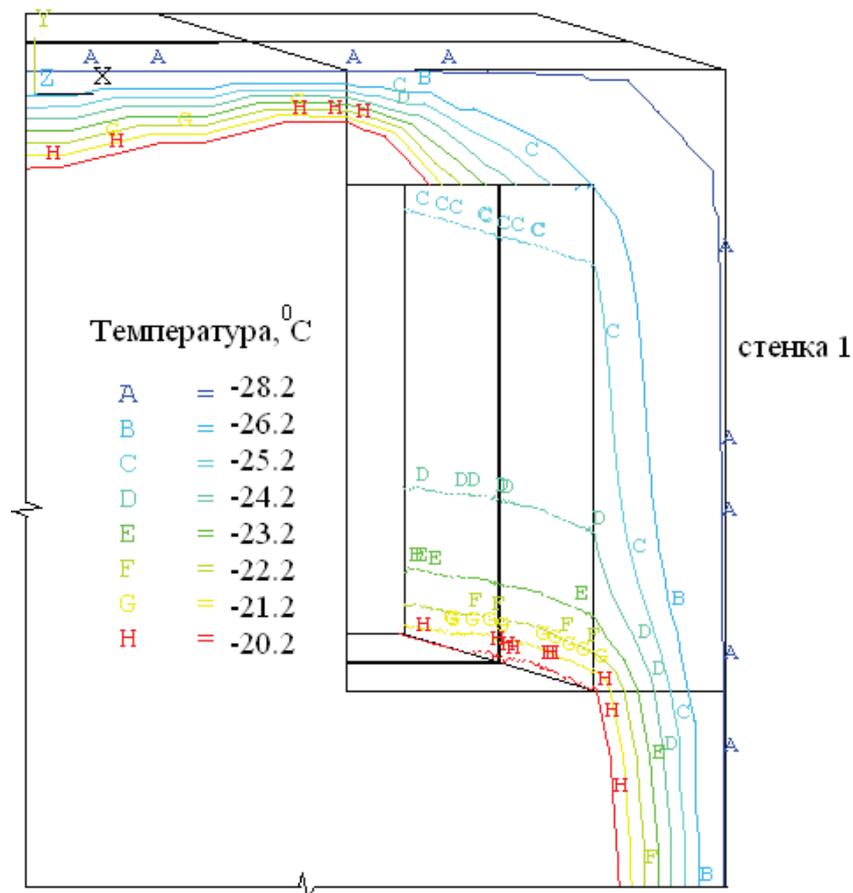


Рис. 3. Стенка 1. Год со средней амплитудой колебаний .  
среднемесячных температур воздуха. Распределение температур в январе

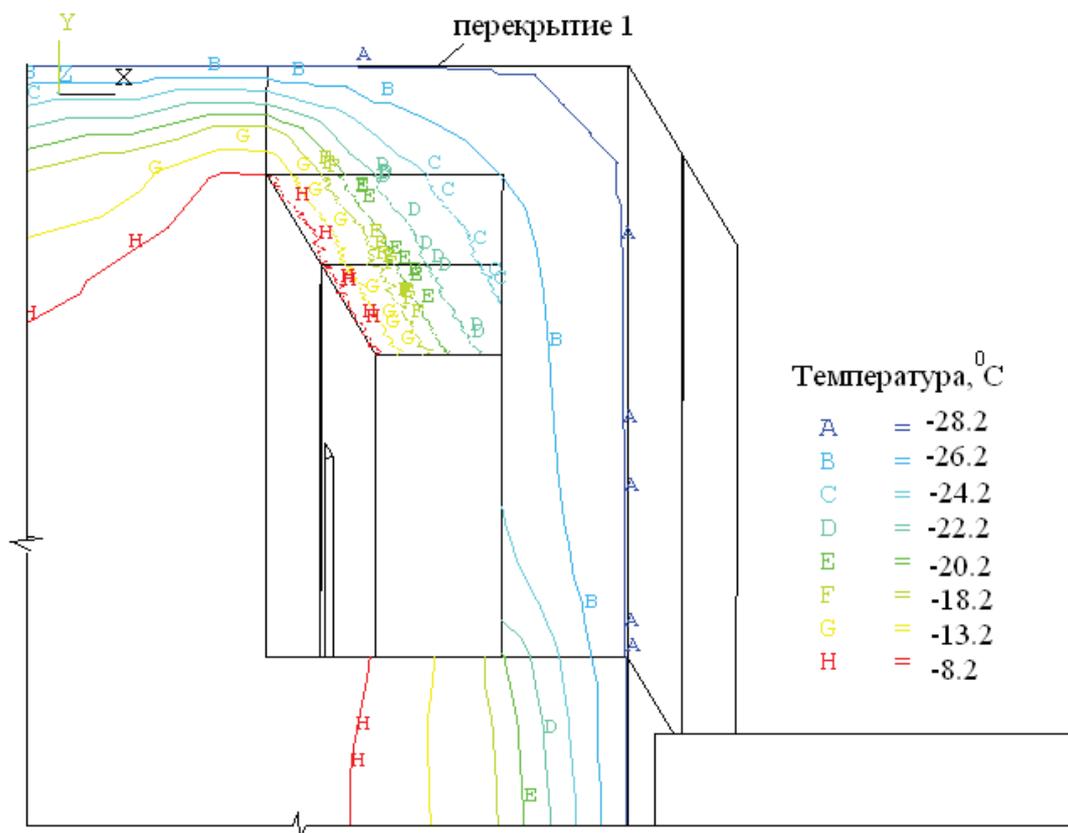


Рис. 4. Перекрытие 1. Год со средней амплитудой колебаний  
среднемесячных температур воздуха. Распределение температур в январе

Установка утеплителя существенно снизила перепад температур между наружной и внутренней гранями конструкции

в январе. Результаты расчетов для среднего и особого по температурным условиям года с утеплителем и без него сведены в таблицу 1.

Таблица 1

**Перепад температур в конструкциях плотины, °С**

Конструкция	С утеплителем при амплитуде колебаний температуры воздуха		Без утеплителя при амплитуде колебаний температуры воздуха	
	средней	максимальной	средней	максимальной
стенка 1	8,0	11,0	33,2	49,0
перекрытие 1	20,0	24,0		
перекрытие 2	20,0	25,0		

В таблице 2 представлены результаты определения армирования в перекрытиях 1 и 2. Площади арматуры выбраны как наибольшие из двух сочетаний нагрузок и воздействий: основного для года

со средней амплитудой колебаний среднемесячных температур воздуха и особого для года с максимальной амплитудой колебаний среднемесячных температур воздуха.

Таблица 2

**Количество арматуры в бетонных конструкциях  
(в числителе – количество арматуры с утеплителем, в знаменателе – без утеплителя)**

Конструкция	Горизонтальная арматура, см <sup>2</sup> /п.м.			
	вдоль потока		поперек потока	
	на верхней грани	на нижней грани	на верхней грани	на нижней грани
перекрытие 1	70/85	-/- <sup>1</sup>	40/40	-/-
перекрытие 2	90/115	70/65	65/70	35/-

**Примечания.** 1 – силовой арматуры не требуется.

Как следует из таблицы 2, количество арматуры существенно не изменилось с применением утеплителя. Малая эффективность его применения обусловлена тем, что в массивном бетоне тела плотины температурное поле не изменилось и плотина «навязывает» тонкостенным конструкциям деформации, которые не меняются при наличии и отсутствии утеплителя.

В данном случае улучшить напряженно-деформированное состояние (существенно уменьшить количество силовой арматуры) исследуемых, тонкостенных конструкций путем уменьшения температурного перепада не удалось. Возможно, что размещение утеплителя с наружной стороны конструкций (со стороны низовой грани) позволит уменьшить температурный перепад между массивным бетоном и наружными гранями и тем самым улучшить напряженно-деформированное состояние плотин.

Самое неблагоприятное напряженно-деформированное состояние бетонных гравитационных и контрфорсных плотин, возведенных в районах с суровыми климатическими условиями, обусловлено макси-

мальным раскрытием строительных швов на низовой грани в зимний период [1, 2].

Можно предположить, что в случае применения утеплителя у бетонных гравитационных и контрфорсных плотин минимизируется раскрытие строительных швов на низовой грани в зимний период, а у тонкостенных конструкций гидротехнических сооружений (станционные секции, турбинные водоводы) можно уменьшить количество силовой арматуры.

Конструкции станционных секций и турбинных водоводов работают в условиях подобным тонкостенным перекрытиям и стенкам галерей Богучанской ГЭС. Избежать трещинообразования в таких конструкциях не удастся. Бетон водоводов, затронутый трещинами, будет деградировать, что может привести к перераспределению усилий в арматуре: уменьшению усилий, воспринимаемых арматурой наружной грани, и увеличению усилий, воспринимаемых арматурой внутренней грани. Для обеспечения долговременной работы тонкостенных железобетонных конструкций плотин эффективной мерой по снижению температурных воздействий

на бетон будет являться применение утеплителя. В случае размещения утеплителя со стороны наружных граней это также позволит уменьшить и влажностные воздействия на конструкции.

### Выводы

1. Проведенные исследования показали высокую эффективность применения утеплителя, позволившего снизить перепад температур в железобетонной конструкции толщиной 55 см на 25,0°C (при средней амплитуде колебаний наружного воздуха).

2. Применение утеплителя является перспективным для гидротехнических сооружений, эксплуатирующихся в суровых климатических условиях. Применение утеплителя могло бы уменьшить сезонные колебания температуры, и как следствие – величину температурных напряжений.

### Библиографический список

1. Козлов Д.В., Крутов Д.А. Анализ собственных деформаций бетона по данным натурных наблюдений на плотине Богучан-

ского гидроузла // Гидротехническое строительство. 2005. № 1. С. 31-36.

2. Крутов Д.А., Шилов Л.А. Исследования напряженно-деформированного состояния бетонной плотины с учетом изменчивости коэффициента линейного расширения бетона // Вестник МГСУ. 2014. № 11. С. 154-160.

Материал поступил в редакцию 12.01.2017 г.

### Сведения об авторах

**Козлов Дмитрий Вячеславович**, доктор технических наук, профессор, проректор по инновационной работе, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-29-62; e-mail: kozlovdv@rgau-msha.ru, kozlovdv@mail.ru

**Крутов Денис Анатольевич**, кандидат технических наук, преподаватель, НОУ «Корпоративный институт ПАО «Газпром»; 117997, г. Москва, ул. Наметкина, 16, корпус 2; тел.: 8(916)-795-86-00; e-mail: dkrutov@rambler.ru

### D.V. KOZLOV

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

### D.A. KRUTOV

Non-state educational institution «Corporative institute PAO «Gazprom»

## APPLICATION OF HEAT INSULATION MATERIAL IN THE STRUCTURE OF CONCRETE DAMS OPERATING UNDER SEVERE CLIMATE CONDITIONS

*The article presents the results of calculations of thermal conductivity to evaluate the effectiveness of the heat insulation material laid in the galleries of the concrete dam of the Boguchany hydroelectric power plant. After obtaining the temperature distribution in the dam there was solved the problem of the mode of deformation according to the results of which there was determined the required quantity of armature. The obtained results are of practical importance: 1) to assess lowering of seasonal temperature fluctuations in the dam structures; 2) to assess reduction of the quantity of armature when using a heat insulation material. The most unfavourable deformation mode of concrete gravity and buttress dams built in the areas with severe climatic conditions is conditioned by the maximum opening of construction seams on the downstream face in winter. In case of using insulation in concrete gravity and buttress dams the opening of construction joints minimizes on the downstream face in the winter period, and in thin-walled structures of hydraulic structures (stationary sections, turbine water passages) it is possible to reduce the reinforcement quantity. It will not be possible to avoid cracking in such structures. Concrete of water conduits touched by cracks will be degrading which may lead to a redistribution of forces in the reinforcement: fewer efforts perceived by the armature of the external face and more efforts perceived by the inner face. To ensure a long-term operation of thin-walled concrete structures of dams the effective measure on decreasing temperature influences on concrete will be the use of insulation. In case of placement of the insulation from the external faces it will also permit to reduce the impact of humidity on structures.*

*Using of insulation in the construction of concrete dams, reinforcement of thin-walled structures, measures on reducing seasonal temperature fluctuations.*

## References

1. Kozlov D.V., Krutov D.A. Analiz sobstvennykh deformatsij betona po dannym naturnykh nablyudenij na plotline Boguchanskogo hydrouzla // Hydrotehnicheskoye stroitelstvo. 2005. № 1. S. 31-36. 2014. № 11. S. 154-160.
2. Krutov D.A., Shilov L.A. Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya betonnoj plotiny s uchetom izmenchivosti coef-fitsienta linejnogo rasshireniya betona // Vestnik MGSU.

The material was received at the editorial office  
on 12.01.2017

## Information about the authors

**Kozlov Dmitriy Vyacheslavovich**, doctor of technical sciences, professor, deputy rector on innovation work, FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, 49; tel.: (499) 976-29-62; e-mail: kozlovdv@rgau-msha.ru, kozlovdv@mail.ru

**Krutov Denis Anatolievich**, candidate of technical sciences, lecturer, NOU «Corporate institute PAO «Gazprom»; 117997, Moscow, ul. Nametkina, 16, corpus 2; tel.: 8(916)-795-86-00; e-mail: dkrutov@rambler.ru

УДК 502/504:69.059.3

**О.В. МАРЕЕВА**

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

**А.В. КЛОВСКИЙ**

Открытое акционерное общество «Государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности», г. Москва;

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

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ

*Цель исследования – расчетное обоснование выбора рационального способа усиления железобетонных колонн реконструируемых зданий без дефектов, снижающих несущую способность. Приведены результаты сравнительного анализа способов усиления железобетонных колонн зданий при реконструкции, связанной с увеличением нагрузок, при различных конструктивных решениях усиления. Рассматривается усиление железобетонной и металлической колонн обоймами, причем металлическая обойма – в виде предварительно напряженных металлических стоек. Расчеты вариантов усиления производились для колонн типовых сечений (пять типов), различных классов бетона и параметров армирования, применяемых для таких элементов, работающих со случайными эксцентриситетами, и без дефектов, снижающих несущую способность. Нагрузки варьировались в диапазоне 1420...2400 кН. Расчеты показали, что для колонн, усиливаемых железобетонными обоймами, увеличение гибкости практически не влияет на требуемую толщину обоймы. Модульность шага и минимальное значение толщины обоймы обуславливает большой диапазон изменения коэффициента использования (0,597...0,995). Величина процентного увеличения несущей способности в среднем составляет 15...20% и почти не зависит (3...5%) от гибкости. Для усиления колонн металлическими обоймами увеличение гибкости влияет на требуемую площадь элементов усиления и величину процентного увеличения несущей способности. Коэффициент использования составляет 0,898...0,987, что свидетельствует об эффективном использовании конструкции усиления. Стоимость устройства рассматриваемых вариантов в целом сопоставима, максимальная разница составляет примерно 15%. Фактический вес железобетонных обойм усиления выше соответствующих значений для металлических обойм в 3...4,5 раз, что накладывает определенные ограничения на возможность применения железобетонных обойм в случае минимальных запасов по несущей способности фундаментов и грунтов основания реконструируемых зданий.*

*Реконструкция, усиление несущих элементов, металлическая обойма, железобетонная обойма, рекомендации по усилению.*

**Введение.** В сфере современной строительной отрасли все большее значение приобретает реконструкция зданий и сооружений, которая в крупных городах и промышленных центрах по объемам часто превосходит новое строительство. Под реконструкцией в общем случае понимается комплекс строительных работ и организационно-технических мероприятий, связанных с изменением основных технико-экономических показателей (нагрузок, планировки помещений, строительного объема и общей площади здания, инженерной оснащенности) с целью изменения условий эксплуатации, максимального восполнения утраты от имевшего место физического и морального износа, достижения новых целей эксплуатации здания [1].

Зачастую реконструкция зданий и сооружений обуславливает необходимость выполнения комплекса работ по усилению существующих несущих конструкций с целью приспособления их к новым условиям эксплуатации, так как в определенном количестве случаев реконструкция связана с увеличением нагрузок, действующих на несущие конструкции. Усилением называют комплекс мероприятий, обеспечивающих повышение несущей способности и эксплуатационных свойств строительной конструкции или здания и сооружения в целом, включая грунты основания, по сравнению с фактическим состоянием или проектными показателями [2]. Например, реконструкция зданий и сооружений, заключающаяся в увеличении этажности объектов капитального строительства (их надстройке) без устройства дополнительных внешних опор под вновь возводимые конструкции, всегда сопряжена с увеличением нагрузок на существующие вертикальные несущие элементы (колонны, столбы, стены и проч.). При этом колонны в определенных случаях имеют небольшие запасы по несущей способности, что обуславливает необходимость их усиления. Поэтому рассматриваемые в настоящей статье вопросы усиления колонн реконструируемых зданий и сооружений возникают в практике строительного производства достаточно часто, что подтверждает актуальность проведенного исследования.

К настоящему времени отечественными и зарубежными учеными и инженерами разработано и внедрено в практику гидро-

технического, агропромышленного и гражданского строительства большое количество различных по эффективности, материалоемкости и удобству реализации способов усиления несущих конструктивных элементов зданий и сооружений. В этой связи выбору наиболее рационального способа усиления в каждом конкретном случае должны предшествовать разработка и анализ нескольких вариантов конструктивных решений усиления с последующим сравнением их технико-экономической эффективности.

**Материалы и методы исследований.** Цель исследования – расчетное обоснование выбора рационального способа усиления железобетонных колонн реконструируемых зданий без дефектов, снижающих несущую способность.

Для достижения намеченной цели потребовалось решить следующие основные задачи:

- 1) рассмотреть различные способы усиления железобетонных колонн при реконструкции, связанной с увеличением нагрузок;
- 2) провести сравнительный анализ рассматриваемых способов;
- 3) на основе полученных данных сделать выводы и представить рекомендации по данному вопросу.

Объектами настоящего исследования являлись сборные железобетонные колонны реконструируемых зданий без дефектов, снижающих несущую способность. Были рассмотрены следующие модульные сечения  $b \times h$  ( $b$  и  $h$  – линейные размеры поперечного сечения колонн): 300 x 300 мм, 350 x 350 мм, 400 x 400 мм, 450 x 450 мм, 500 x 500 мм из бетона классов, применяемых для таких колонн, а именно В15, В20, В25 при различной интенсивности нагружения. Армирование усиливаемой колонны – 4Ø18 А400. Материалы усиления: бетон класса В20 и арматура класса А400 (железобетонная обойма), прокатные стальные уголки по ГОСТ 8509-93 (металлическая обойма).

При расчете сжатых элементов на действие продольной силы с эксцентриситетом, равным случайному, несущая способность зависит в том числе от гибкости элемента  $\lambda$ , поэтому были рассмотрены колонны различной длины  $l_0$ : от 2,8 м до 5 м с шагом 0,2 м. Гибкость колонны, усиливаемой железобетонной обоймой,  $\lambda_{ж.б.}$ , определялась как от-

ношение длины колонны  $l_0$  к линейному размеру поперечного сечения элемента  $h$  с учетом толщины обоймы усиления  $\Delta$ , выполненной по периметру:  $\lambda_{ж.б.} = l_0 / (h + 2 \cdot \Delta)$ . Гибкость колонны, усиливаемой металлической обоймой,  $\lambda_{мет.}$ , определялась как отношение длины колонны  $l_0$  к линейному размеру поперечного сечения элемента  $h$ :  $\lambda_{мет.} = l_0 / h$ .

В качестве исходных данных для проектирования усиления были взяты нагрузки на сборную железобетонную колонну в уровне технического этажа производственного корпуса одного из отраслевых предприятий: до реконструкции нагрузка на колонну составляла 946 кН, после реконструкции – 1420 кН (увеличение составило 50%). Также были рассмотрены следующие значения действующих нагрузок: 1600 кН, 1800 кН, 2000 кН, 2200 кН и 2400 кН.

Для каждого расчетного случая определялась несущая способность неусиленного элемента  $N_0$ , оценивалась величина перегрузки  $N_{ov}$  (разница между нагрузкой на колонну после реконструкции  $N$  и несущей способностью неусиленного элемента), на которую и рассчитывалась конструкция усиления с последующим определением несущей способности усиленного элемента  $N_{rec}$ . В ходе расчетного обоснования, выполненного в программе Microsoft Excel, оценивались также коэффициент использования несущей способности усиленного элемента  $k_{rec} = N / N_{rec}$  и величина процентного увеличения несущей способности  $P\% = (N_{rec} / N_0 - 1) \cdot 100\%$ .

В качестве способов усиления были рассмотрены железобетонная и металлическая обоймы, причем металлическая обойма – в виде предварительно напряженных металлических стоек (рис. 1).

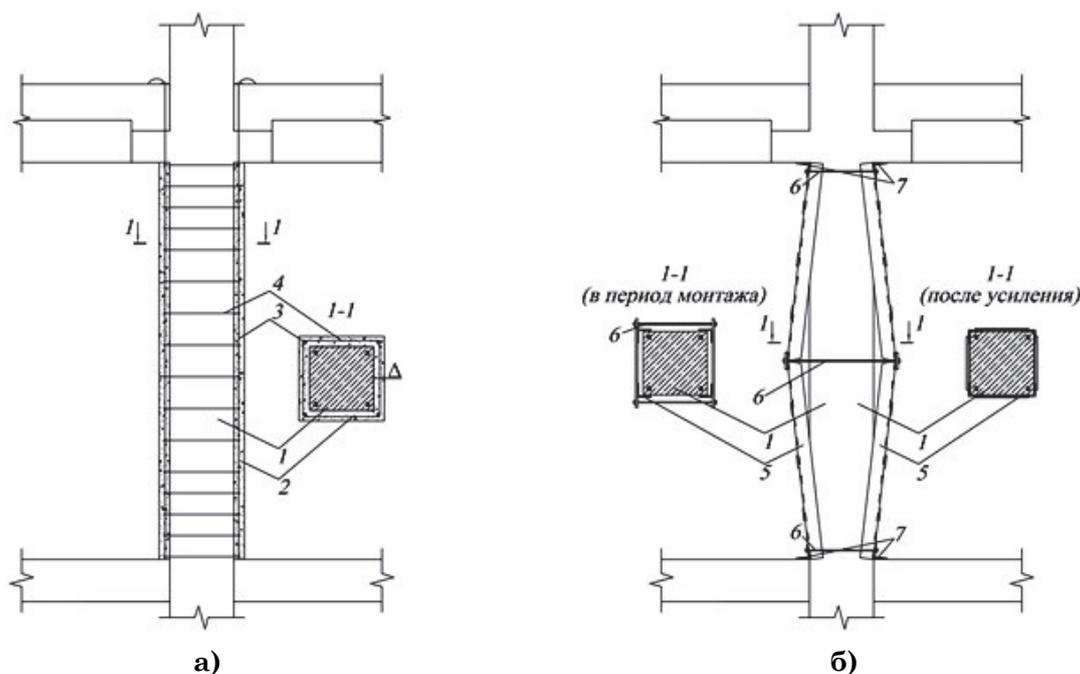


Рис. 1. Рассматриваемые способы усиления железобетонных колонн:

- а – усиление железобетонной обоймой; б – усиление металлической обоймой с преднапряженными стойками. 1 – усиливаемая железобетонная колонна;
- 2 – бетон обоймы усиления; 3 – продольная арматура усиления;
- 4 – поперечная арматура усиления; 5 – преднапряженные стойки, соединяемые планками;
- 6 – натяжные монтажные болты; 7 – упорные элементы

Железобетонная обойма (рис. 1, а) выполняется в виде наращивания сечения по четырем сторонам с армированием сварными или вязаными каркасами без связи арматуры обоймы с арматурой усиливаемой колонны и применяется в основном для колонн с небольшой гибкостью.

При таком способе усиления важно обеспечить совместную работу «старого» и «нового» бетона, что достигается тщательной очисткой поверхности бетона усиливаемой конструкции пескоструйным аппаратом, насечкой или обработкой металлическими щетками, а также промывкой

под давлением непосредственно перед бетонированием.

Толщина бетона обоймы колонн определяется расчетом и конструктивными требованиями (диаметром продольной и поперечной арматуры, величиной защитного слоя и т.п.) и находится в пределах от 50 до 100 мм. Обычно модульный шаг увеличения толщины железобетонной обоймы усиления  $S$  принимается равным 10 мм.

Площадь рабочей продольной арматуры также определяют расчетом (в общем случае – 0,01 от площади бетона усиления), принимается ее диаметр не менее 16 мм. Поперечная арматура диаметром не менее 6 мм для вязаных каркасов и 8 мм для сварных устанавливаются с шагом 15 диаметров продольной арматуры и не более трехкратной толщины обоймы, но не более 200 мм. В местах концентрации напряжений шаг хомутов уменьшается [3].

Металлическая обойма рассматривалась в виде предварительно напряженных металлических стоек (рис. 1, б). Предварительно напряженные стойки состоят из двух уголков, соединенных между собой металлическими планками. Планки устанавливаются таким образом, чтобы они выступали за торцы уголков стоек на 100-120 мм, и устраивают два отверстия для стяжных

болтов. До установки стоек в проектное положение в боковых полках уголков в середине их высоты выполняется вырез и осуществляется их незначительный перегиб. Предварительное напряжение стоек создается путем придания им вертикального положения за счет закручивания гаек натяжных болтов. При этом необходимо обеспечить плотное прилегание уголков к телу колонны, а также их совместную работу, объединив стойки с помощью приварки к ним металлических планок. Для эффективного включения стоек в работу достаточно создать в них предварительное напряжение порядка 40-100 МПа, что обеспечивается за счет расчетного удлинения при выпрямлении уголков [4].

Рассмотрев два наиболее часто применяемых способа усиления железобетонных колонн, перейдем к расчетному обоснованию их эффективности. Все расчеты были выполнены в соответствии с рекомендациями по усилению железобетонных колонн железобетонными и металлическими обоймами [3, 4], а также требованиями действующих нормативных документов [5, 6]. Наиболее характерные результаты, полученные для колонн сечением 300 x 300 мм из бетона класса В15, приведены на рисунках 2 и 3, а также в таблицах 1 и 2.

Влияние гибкости колонны на толщину обоймы усиления

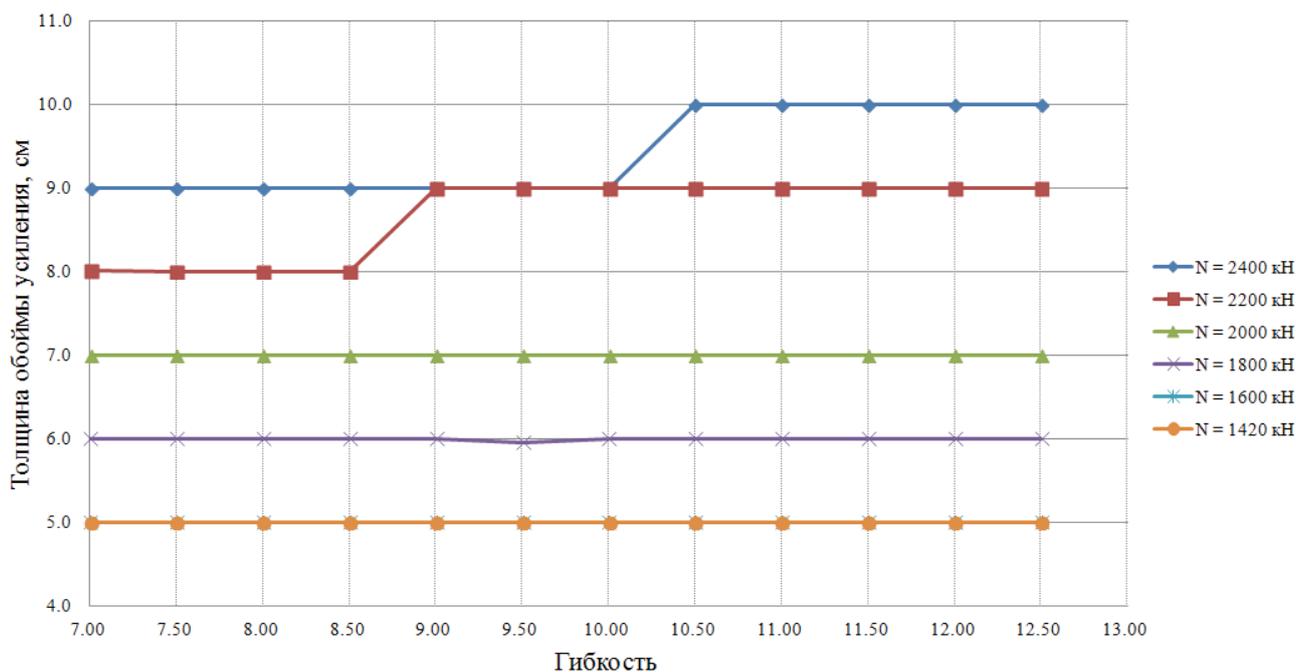


Рис. 2. Влияние гибкости на толщину железобетонной обоймы усиления колонны сечением 300 × 300 мм из бетона класса В15 мм при различной интенсивности нагружения

Влияние гибкости колонны на площадь элементов усиления

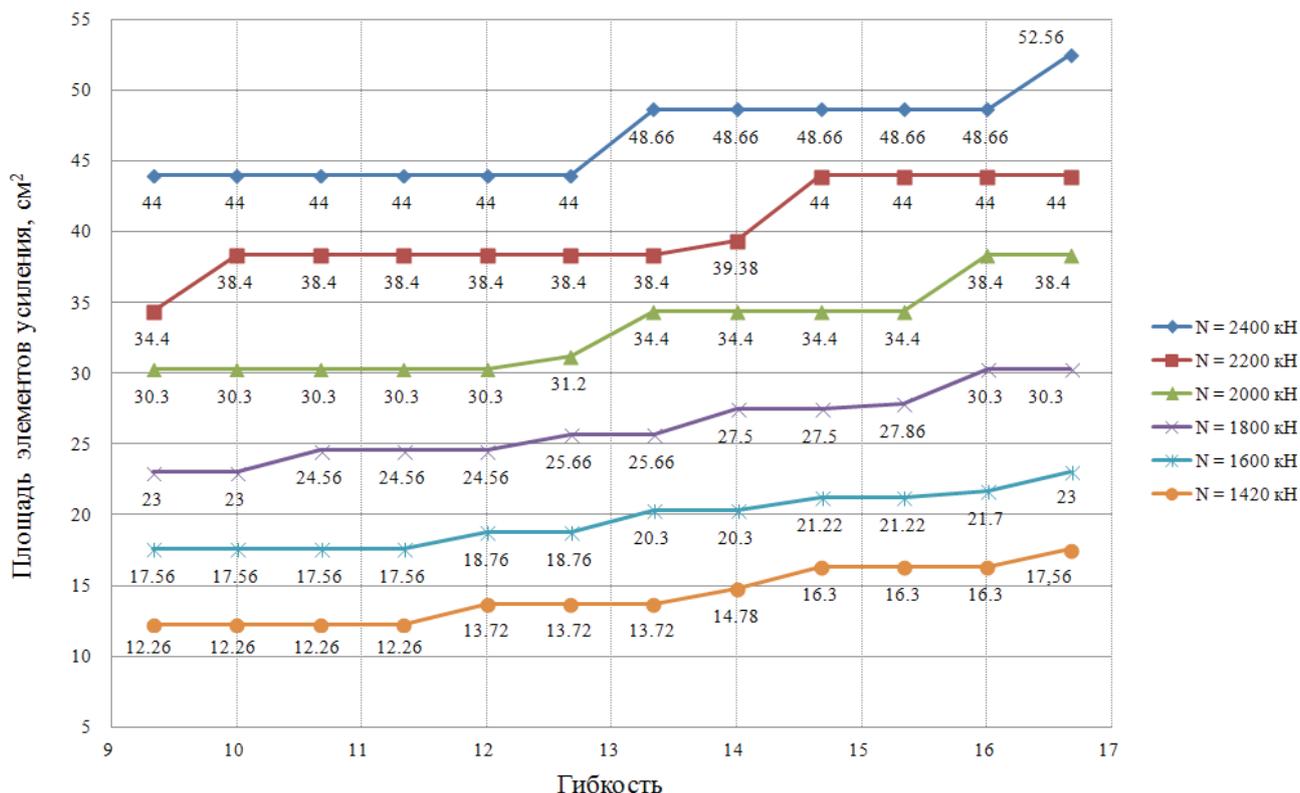


Рис. 3. Влияние гибкости на площадь элементов металлической обоймы усиления колонны сечением 300 × 300 мм из бетона класса В15 мм при различной интенсивности нагружения

Таблица 1

Показатели повышения несущей способности колонн, усиленных железобетонной обоймой

	$\Delta = 5$ см	$\Delta = 6$ см	$\Delta = 7$ см	$\Delta = 8$ см	$\Delta = 9$ см	$\Delta = 10$ см
$k_{rec}$	0,847 (при $N_1$ )	0,968 (при $N_3$ )	0,975 (при $N_4$ )	0,995 (при $N_5$ и $l_0 \leq 3,4$ м)	0,993 (при $N_6$ и $l_0 \leq 4,0$ м)	0,906 (при $N_6$ и $l_0 \geq 4,2$ м)
	0,954 (при $N_2$ )					
$P_{\%, ср}$	80,9	100,4	121,3	136,1	159,1	187,9

Таблица 2

Показатели повышения несущей способности колонн, усиленных металлической обоймой

	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$
$k_{rec}$	0,962	0,964	0,954	0,942	0,931	0,926

Анализ полученных данных позволил сделать следующие основные выводы.

1. Для колонн, усиливаемых железобетонными обоймами, увеличение гибкости практически не влияет на требуемую толщину обоймы усиления. Так, для всех расчетных случаев для одного и того же

сечения усиливаемой колонны при фиксированном значении нагрузки во всем диапазоне изменения гибкости происходит не более одного модульного шага увеличения толщины обоймы (рис. 2). Значительно большее влияние на рассматриваемый параметр оказывает величина перегрузки  $N_{ov}$ .

В свою очередь для случая усиления колонн металлическими обоймами увеличение требуемой площади элементов усиления зависит в том числе от гибкости элемента: на нелинейных графиках для всех расчетных случаев для одного и того же сечения усиливаемой колонны при фиксированном значении нагрузки во всем диапазоне изменения гибкости происходит не более одного модульного шага увеличения толщины обоймы (рис. 2). Значительно большее влияние на рассматриваемый параметр оказывает величина перегрузки  $N_{ov}$ .

рованном значении нагрузки присутствует не менее трех шагов изменения площади (рис. 3).

2. Модульность шага в увеличении толщины железобетонной обоймы усиления, а также минимальное значение толщины обоймы  $\Delta = 5$  см зачастую не позволяет «точечно» повысить несущую способность усиливаемой колонны на величину перегрузки  $N_{ov}$  с учетом обеспечения минимального запаса по прочности. Отмеченное обстоятельство возможно только в случае усиления колонн сечением 300 x 300 мм из бетона класса В15, когда коэффициент использования несущей способности усиленного элемента  $k_{rcr}$  близок к 1 во всем рассматриваемом диапазоне изменения интенсивности нагружения с учетом изменения гибкости усиливаемого элемента (табл. 1). Так, при проектировании усиления колонны сечением 400 x 400 мм длиной 4,2 м из бетона класса В15 величина  $k_{rcr}$  составляет 0,597, что свидетельствует о неэффективном использовании конструкции усиления.

При устройстве металлических обоек коэффициент использования несущей способности усиленного элемента  $k_{rcr}$  для всех расчетных случаев находится в диапазоне от 0,898 до 0,987 (для колонн сечением 300 x 300 мм из бетона класса В15 – в диапазоне от 0,926 до 0,962 (табл. 2), что свидетельствует об эффективном использовании конструкции усиления и возможности проектирования последней на величину перегрузки  $N_{ov}$  с учетом обеспечения минимальных запасов по несущей способности усиленного элемента.

3. При последовательном увеличении толщины железобетонной обоймы  $\Delta$  на 1 см осредненная величина  $P_{\%}$  для каждого из рассмотренных модульных сечений усиливаемых колонн растет на 15...20%. При этом во всем рассматриваемом диапазоне изменения гибкости максимальное и минимальное значения рассматриваемого параметра для одного и того же сечения усиливаемой колонны при фиксированном значении нагрузки различаются в среднем на 3...5%, в отдельных случаях разница составляет 10%.

В случае металлических обоек при применении типовых сечений прокатных стальных уголков по ГОСТ 8509-93 величина  $P_{\%}$  при прочих равных условиях

напрямую зависит от гибкости усиливаемого элемента. При этом во всем рассматриваемом диапазоне изменения гибкости максимальное и минимальное значения рассматриваемого параметра для одного и того же сечения усиливаемой колонны при фиксированном значении нагрузки различаются примерно на 30%, что не позволяет оценить среднее значение указанного параметра.

Рассмотрев расчетное обоснование двух способов усиления, перейдем к сравнительному анализу вариантов с точки зрения денежных затрат на их устройство, подсчитанных на основе материалоемкости и трудоемкости.

Были изучены руководства и рекомендации по производству усиления железобетонных конструкций, в том числе сметные нормативы. Для каждого способа усиления были оценены трудозатраты и их величина в денежном эквиваленте на усиление одной колонны. Транспортные расходы учитывались фактическим весом конструкции усиления. Результаты сопоставления в графической форме приведены на рисунках 4, 5.

Как следует из графика на рисунке 4, стоимость устройства железобетонных и металлических обоек усиления в целом сопоставима. Так, при увеличении действующих нагрузок в 1,7...2,1 раза для колонн высотой от 3,8 м более выгодной с экономической точки зрения является железобетонная обойма, во всех остальных рассмотренных случаях – металлическая обойма. Вместе с тем максимальная разница в стоимости конструкций усиления для одних и тех же расчетных условий составляет примерно 15%. Также здесь необходимо отметить, что устройство огнезащиты, а также выполнение отделочных слоев в случае применения металлической обоймы в несколько раз выше в сравнении с соответствующими значениями для железобетонных обоек.

Фактический вес железобетонных обоек усиления выше соответствующих значений для металлических обоек в 3...4,5 раза (рис. 5). Данное обстоятельство накладывает определенные ограничения на возможность применения железобетонных обоек усиления в случае минимальных запасов по несущей способности фундаментов и грунтов основания реконструируемых зданий.

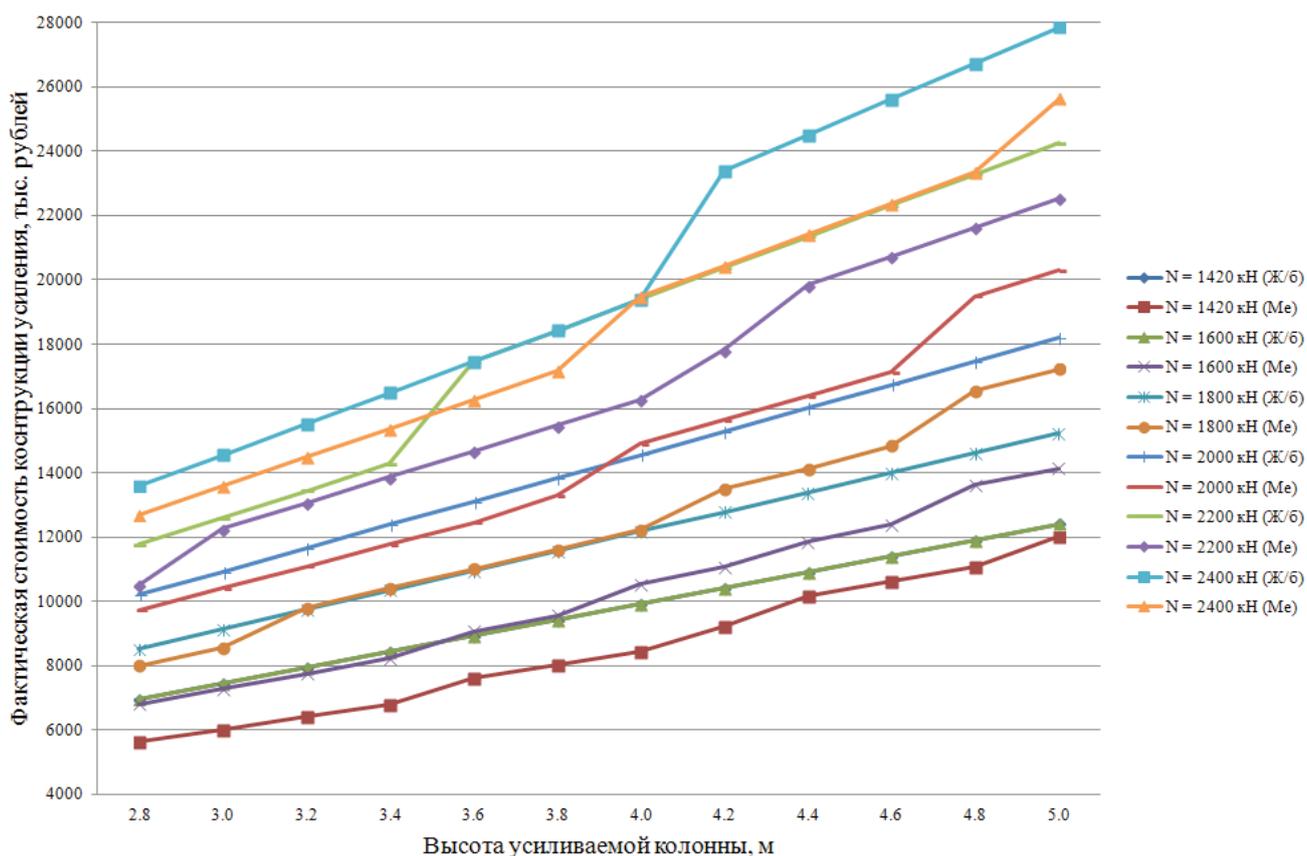


Рис. 4. Фактическая стоимость конструкции усиления колонн сечением 300 x 300 мм из бетона класса В15 железобетонными и металлическими обоймами

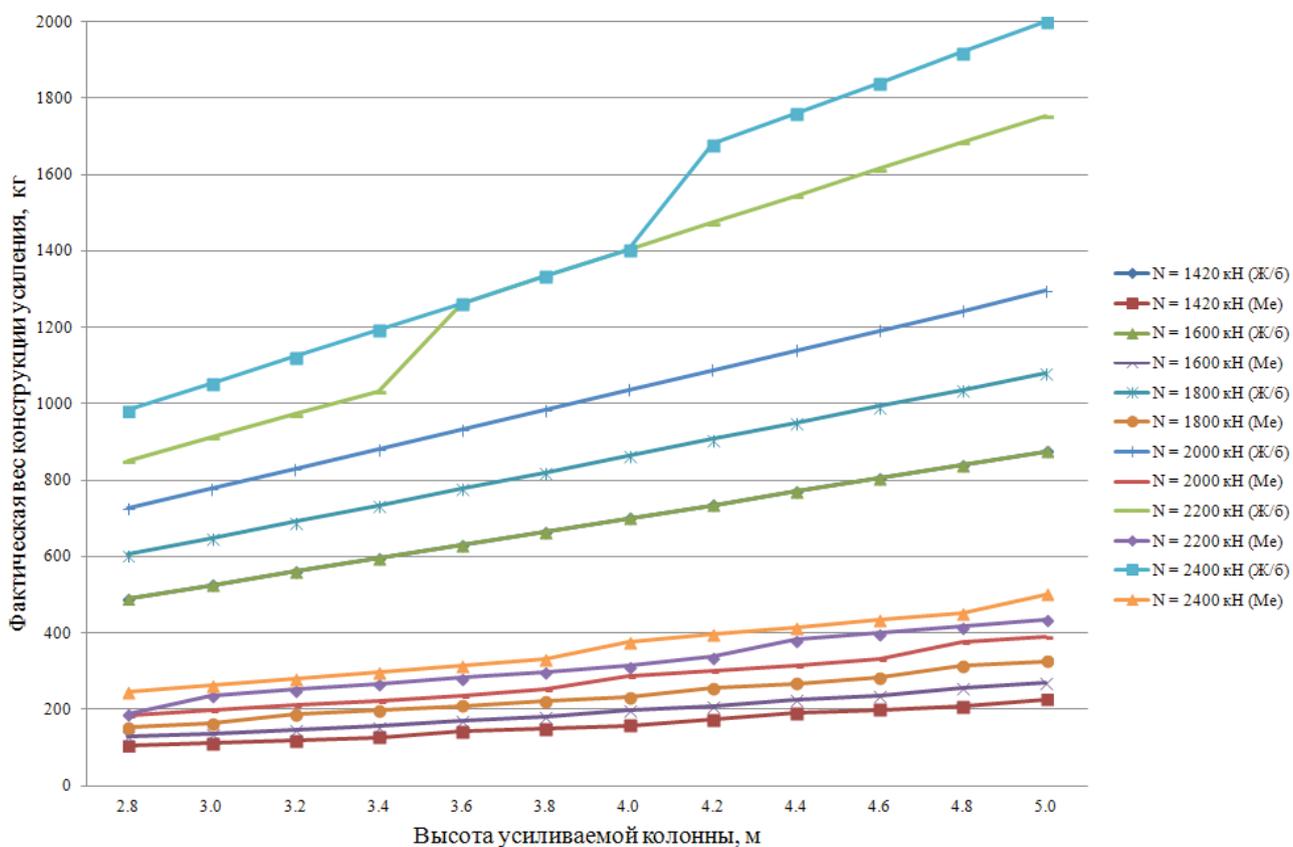


Рис. 5. Фактический вес конструкции усиления колонн сечением 300 x 300 мм из бетона класса В15 железобетонными и металлическими обоймами

### Выводы

Весь комплекс исследований по рассматриваемой проблематике позволил сделать следующие выводы.

Устройство металлических обоев усиления для рассматриваемых условий более выгодно как в технологическом, так и в экономическом плане. Наряду с возможностью «точечного» повышения несущей способности и относительной простотой реализации они обладают меньшим весом в сравнении с железобетонными обоями.

При варианте проектирования в реальных условиях, наряду с рассмотренными в статье факторами, необходимо учитывать тепло-влажностные условия эксплуатации усиленных конструкций, а также возможность дополнительного увеличения нагрузок в сравнении с проектными. В этом случае устройство железобетонных обоев может оказаться более перспективным.

### Библиографический список

1. СП 13-102-2003\*. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. М.: ГОССТРОЙ РОССИИ, 2011. 47 с.
2. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2014. 59 с.
3. Бедов А.И., Сапрыкин В.Ф. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуати-

руемых зданий и сооружений. М.: АСВ, 1995. 192 с.

4. Гольшев А.Б., Кривошеев П.И., Козлецкий П.М. и др. Усиление железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований. Киев: Логос, 2004. 219 с.

5. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-101-2003 (с изменениями № 1, 2). М.: ФАУ ФЦС, 2015. 155 с.

6. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003). М.: ОАО ЦНИИПромзданий, 2005. 214 с.

Материал поступил в редакцию 14.12.2016 г.

### Сведения об авторах

**Мареева Ольга Викторовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерные конструкции» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8 (916) 505-60-41; e-mail: mareevaolgav@gmail.com

**Кловский Алексей Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерные конструкции» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА, инженер ОАО «Государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности»; 127083, г. Москва, ул. Верхняя Масловка, 20; тел.: 8 (903) 541-07-85; e-mail:

### O.V. MAREEVA

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

### A.V. KLOVSKIY

Open stock joint company «State project-design and research institute of the aviation industry», Moscow; Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

## ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS DURING RECONSTRUCTION

*The aim of the investigation is the rated substantiation of the choice of the rational way of strengthening of reinforced concrete columns of the reconstructed buildings without defects reducing the bearing capacity. The article provides the results of the comparative analysis of the methods to reinforce concrete columns of the building being under reconstruction, related to the load increase, taking into account different reinforcement construction solutions. Reinforcement with the use of concrete and metal collars is being considered, and metal collar is made by prestressed metal poles. Calculations of reinforcement variants were made for typical cross-section columns (5 types), for different concrete grades and reinforcement parameters, used for the elements that function with accidental eccentricities and reduce*

*the bearing capacity with no defects. Loads varied within 1420...2400 kN. Calculations showed that for the columns which are strengthened by reinforced collars the increase of flexibility has almost no influence on the demanded collar thickness. Collar set interval and minimal value of collar thickness determine a wide range of capacity factor (0.597...0.995). The value of the percentage increase of the bearing capability is in average 15...20% and almost does not depend on (3...5%) flexibility. For the case of reinforcement of the columns with metal collars the flexibility increase influences the demanded square of reinforcement elements and value of percentage increase of the bearing capability. The capacity factor is 0.898...0.987 which indicates to the effective use of reinforcement construction. The cost of the considered variants is comparable, the maximum difference is approximately 15%. At the same time, the actual weight of reinforced collars is by 3...4.5 times higher than the corresponding values for metal collars which make certain limitations for the possibility to use reinforced collars in case of the maximum allowances on the basements bearing capacity and foundation soil of the constructed buildings.*

*Reconstruction, bearing elements reinforcement, metal collar, reinforced concrete collar, reinforcement recommendations.*

### References

1. SP 13-102-2003\*. Pravila obsledovaniya neshchih stroitelnyh constructsiy zdaniy i sooruzhenij. M.: GOSSTROJ ROSSII, 2011. 47 s.
2. GOST 31937-2011. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoring tehnikeskogo sostoyaniya. M.: Standartinform. 2014. 59 s.
3. Bedov A.I., Saprykin V.F. Obsledovanie i rekonstruktsiya zhelezobetonnyh i kamennyh constructsiy ekspluatiruemyh zdaniy i sooruzhenij. M.: ASV, 1995. 192 s.
4. Golyshev A.B., Krivosheev P.I., Kozeletskij P.M. and others. Usilenie zhelezobetonnyh constructsiy proizvodstvennyh zdaniy i prosadochnykh osnovanij. Kiev: Logos, 2004. 219 s.
5. SP 63.13330.2012. Betonnye i zhelezobetonnye constructsiy. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redactsiya SNIIP 52-101-2003 (with amendments № 1, 2). M.: FAU FTSS, 2015. 155 s.
6. Posobie po proektirovaniyu betonnyh i zhelezobetonnyh constructsiy iz tyazhelogo

betona bez predvaritel'nogo napryazheniya armatury (to SP 52-101-2003). M.: OAO TS-NIIPromizdanij, 2005. 214 s.

The material was received at the editorial office  
14.12.2016

### Information about the authors

**Mareeva Olga Victorovna**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Engineering structures» FGBOU VO RGAU-MSHA; 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, 49; tel.: 8 (916) 505-60-41; e-mail: mareevaolgav@gmail.com

**Klovskiy Alexey Victorovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Engineering structures» FGBOU VO RGAU-MSHA, engineer of OAO «State project-design and research institute of aviation industry»; 127083, Moscow, ul. Verhnyaya Maslovka, 20; tel.: 8 (903) 541-07-85; e-mail: Alexey.Klovskiy@yandex.ru

УДК 502/504:627.8:624.012.4

**К.Е. ФРОЛОВ**

Публичное акционерное общество «РусГидро» (ПАО «РусГидро»), г. Москва, Российская Федерация

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ, УСИЛЕННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ ЛЕНТАМИ, ПО ВТОРОЙ ГРУППЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ**

*Проведены экспериментальные исследования железобетонных моделей, усиленных углеродными лентами на действие изгибающего момента. Для моделирования были приняты характерные конструкции гидротехнических сооружений с невысокими процентами армирования (до 1%), изготовленные из бетона классов В15 и В25. Усиление железобетонных моделей выполнялось путем наклейки углеродных лент типа FibArm Tape 230/300 шириной 300 мм, на нижнюю растянутую грань моделей. Определялись величины прогибов и ширины раскрытия трещин в железобетонных конструкциях гидротехнических сооружений без усиления и усиленных углеродными лентами. Для измерения прогибов на опорах и в центре пролета устанавливались индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм, а также посредством микроскопа отсчетного МПБ-2. Величина прогибов и ширины раскрытия трещин контролировалась на каждом этапе нагружения моделей. В результате проведенных исследований было определено уменьшение величины прогибов и ширины раскрытия трещин, т.е. повышение жесткости и трещиностойкости, за счет усиления железобетонных конструкций углеродными лентами.*

*Изгибаемые железобетонные конструкции, гидротехнические сооружения, усиление, углеродные ленты, экспериментальные исследования, изгибающий момент, вторая группа предельных состояний, прогибы, ширина раскрытия трещин.*

**Введение.** Обоснование новых технических решений по усилению железобетонных конструкций гидротехнических сооружений требуется проводить как по первой группе предельных состояний (по прочности) так и по второй группе предельных состояний (по жесткости и трещиностойкости).

В рамках проведения экспериментальных исследований железобетонных конструкций гидротехнических сооружений для обоснования технологии устройства систем внешнего армирования выполнены испытания при действии изгибающего момента по второй группе предельных состояний, т.е. исследовались величины прогибов конструкций и ширины раскрытия трещин в зависимости от действующих нагрузок.

Целью проведенных исследований по второй группе предельных состояний являлось определение повышения жесткости (уменьшения прогибов) и трещиностойкости (уменьшения ширины раскрытия трещин) массивных железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных системой внешнего армирования углеродными лентами, при действии изгибающего момента,

по сравнению с контрольными железобетонными моделями без усиления.

Для исследований принимались конструкции, характерные для гидротехнического железобетона по своим характеристикам: невысокие классы бетона В15 и В25 и проценты армирования: 0,39% и 0,83% (менее 1%).

**Материал и методы исследований.** Конструкции моделей для испытаний на действие изгибающего момента по предельному состоянию второй группы принимались аналогичными конструкциям моделей для испытаний на прочность при действии изгибающих моментов [1-3]. Размеры моделей составляли: длина – 2150 мм; высота – 300 мм; ширина – 150 мм.

Модели двух серий, изготовленные из бетонов В15 и В25 с армированием 2 диаметра 10 мм и 3 диаметра 12 мм соответственно, оклеивались элементами усиления (углеродными лентами). При этом углеродные ленты шириной 150 мм наклеивались на нижнюю растянутую грань моделей в два слоя. Аналогичное количество моделей изготавливалось без усиления.

Принималась такая нумерация моделей, как Б-И15-1...Б-И15-6 и Б-И25-1...

Б-И25-6, со значениями: Б – «балка», И – «изгибаемая», 15 и 25 – классы бетона (В15 и В25), 1...6 – порядковые номера моделей в каждой серии.

Испытания моделей проводились в горизонтальном положении внутри силовой рамы. Один конец модели опирался на неподвижную опору, другой – на подвижную (катковую) опору; при этом пролет составлял 1950 мм. Нагрузка прикладывалась вертикально в центре пролета посредством гидродомкрата и передавалась на балку через горизонтальную траверсу в двух точках на расстояниях 525 мм от каждой из опор. Таким образом, в средней части пролета (протяженностью 900 мм) моделировалось действие изгибающего момента («чистого изгиба»).

Опытные модели оснащались контрольно-измерительной аппаратурой. Для контроля прогибов на опорах и в центре пролета моделей устанавливались прогибомеры (с точностью измерений 0,01 мм); для контроля раскрытия трещин на трещинах устанавливались щелемеры (с точностью измерений 0,001 мм); для контроля деформаций на углеродные ленты наклеивались тензорезисторы (с точностью измерений 0,00001 ед. относительной деформации). Ширина раскрытия измерялась посредством микроскопа отсчетного МПБ-2.

В результате экспериментальных исследований в рамках каждой серии оценивалось влияние усиления (углеродных лент)

на величину прогибов и ширины раскрытия трещин по сравнению с соответствующими парами моделей-близнецов без усиления.

В процессе испытаний определялись нагрузки, соответствующие одинаковым прогибам и одинаковому раскрытию трещин для контрольных железобетонных моделей (без усиления) и для усиленных моделей. Определялся прирост нагрузки, вызывающей одинаковые прогибы и одинаковое раскрытие трещин в усиленных моделях по сравнению с моделями без усиления.

В ходе проведения экспериментальных исследований определялись следующие показатели:

- прогибы в центре пролета моделей на каждом этапе нагружения;
- нагрузка образования трещин;
- ширина раскрытия трещин в моделях на каждом этапе нагружения;
- нагрузка разрушения моделей;
- прирост нагрузки, соответствующей одинаковым прогибам усиленных моделей по сравнению с контрольными железобетонными моделями (без усиления);
- прирост нагрузки, соответствующей одинаковой ширине раскрытия трещин, для усиленных моделей по сравнению с контрольными железобетонными моделями (без усиления).

Характер трещинообразования и наблюдение за развитием трещин в железобетонной модели, усиленной углеродной лентой, представлены на рисунке 1.

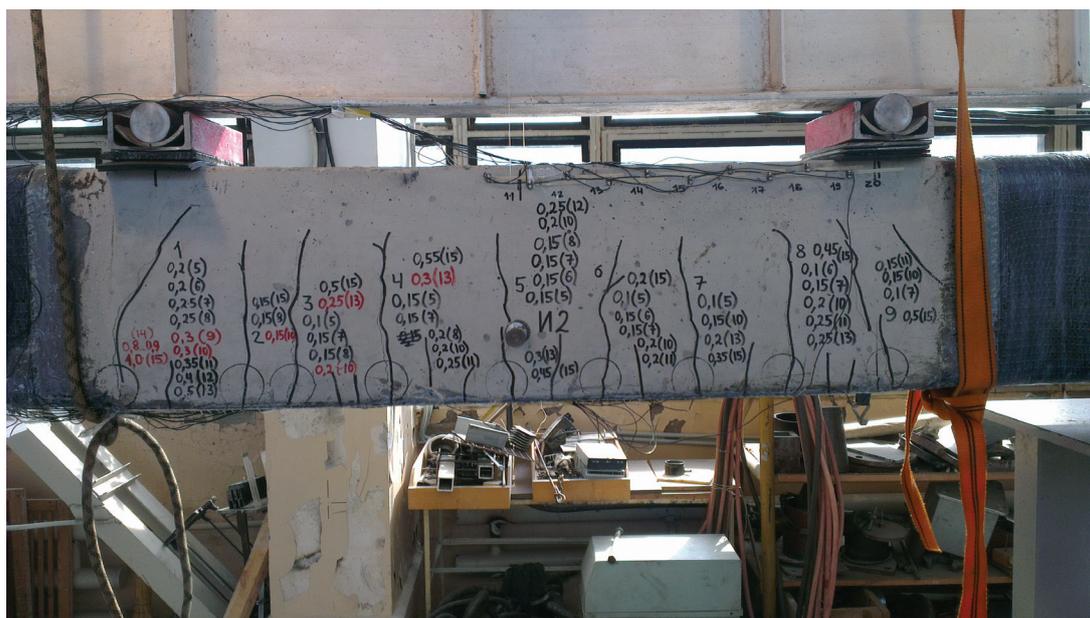


Рис. 1. Характер трещинообразования в средней части пролета железобетонной модели, усиленной углеродной лентой, при действии изгибающего момента

**Результаты и обсуждение.** Результаты экспериментальных исследований моделей по второй группе предельных состояний

на действие изгибающего момента представлены в виде графиков прогибов моделей и ширины раскрытия трещин на рисунках 2-5.

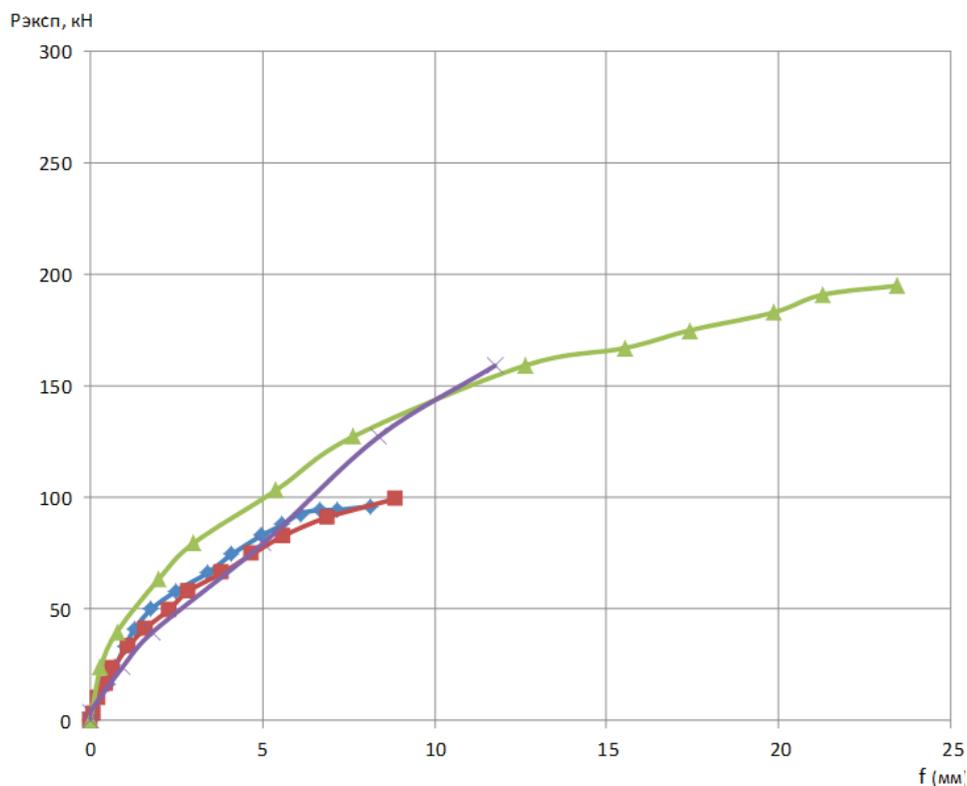


Рис. 2. Графики прогибов в центре пролета моделей серии Б-И15:

—♦— Б-И15-1 (без усиления) —■— Б-И15-2 (без усиления)  
—▲— Б-И15-3 (лента) —×— Б-И15-4 (лента)

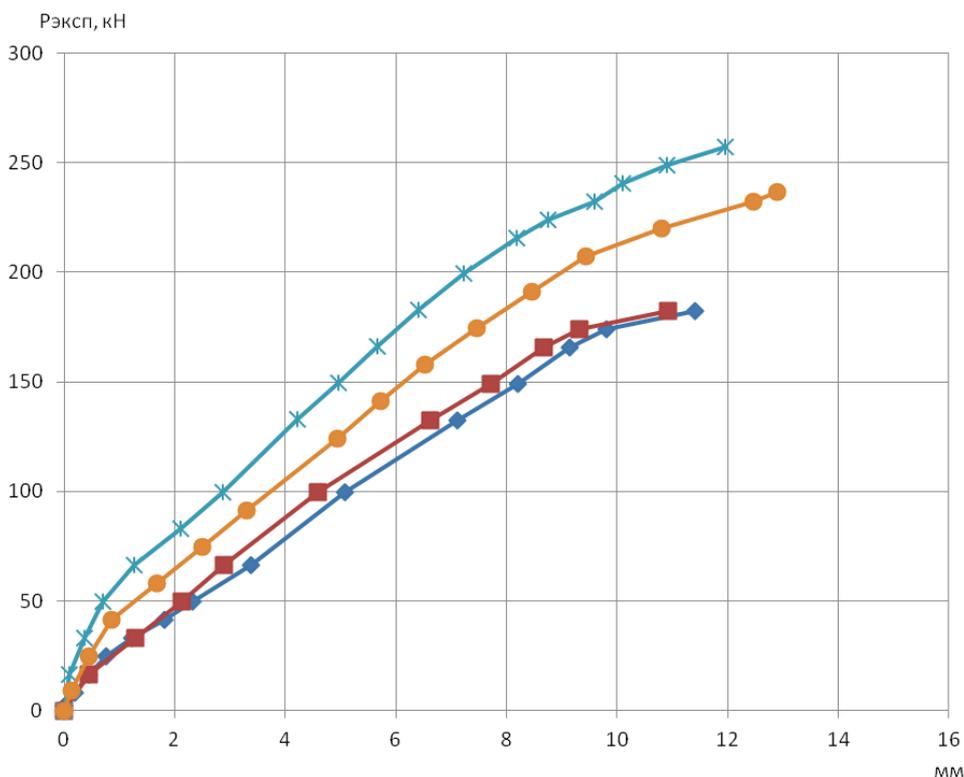


Рис. 3. Графики прогибов в центре пролета моделей серии Б-И25:

—♦— Б-И25-1 (без усиления) —■— Б-И25-6 (без усиления)  
—×— Б-И25-4 (лента) —○— Б-И25-5 (лента)

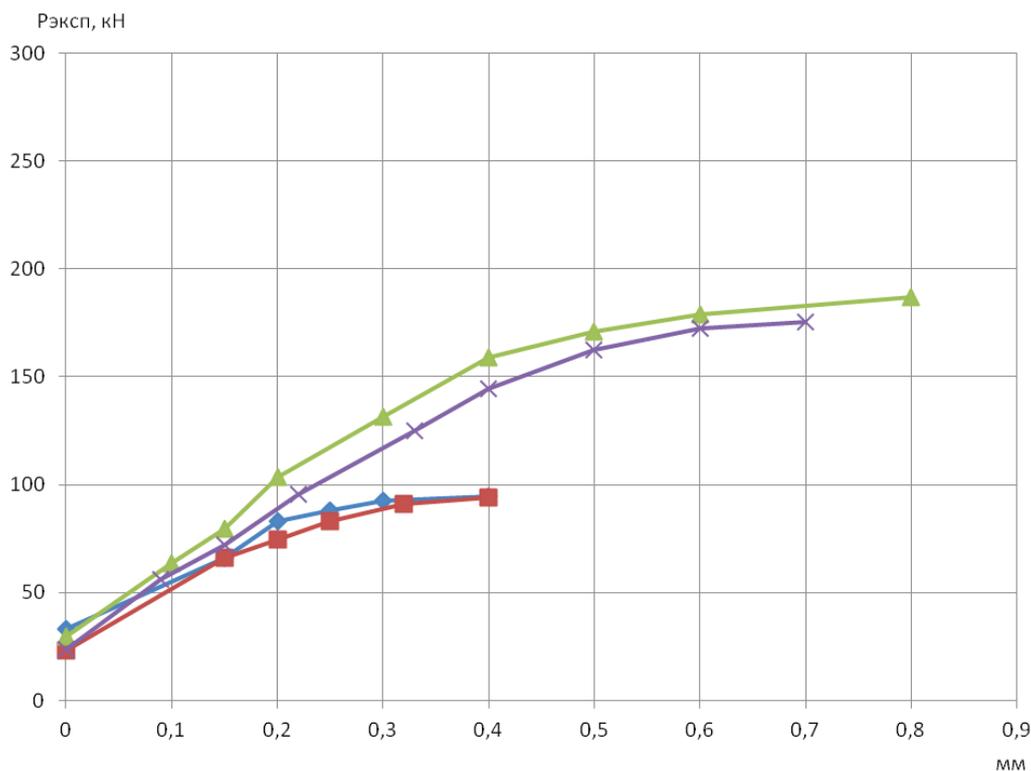


Рис. 4. Графики ширины раскрытия трещин в моделях серии Б-И15:

— Б-И15-1 (без усиления) — Б-И15-2 (без усиления)  
 — Б-И15-3 (лента) — Б-И15-4 (лента)

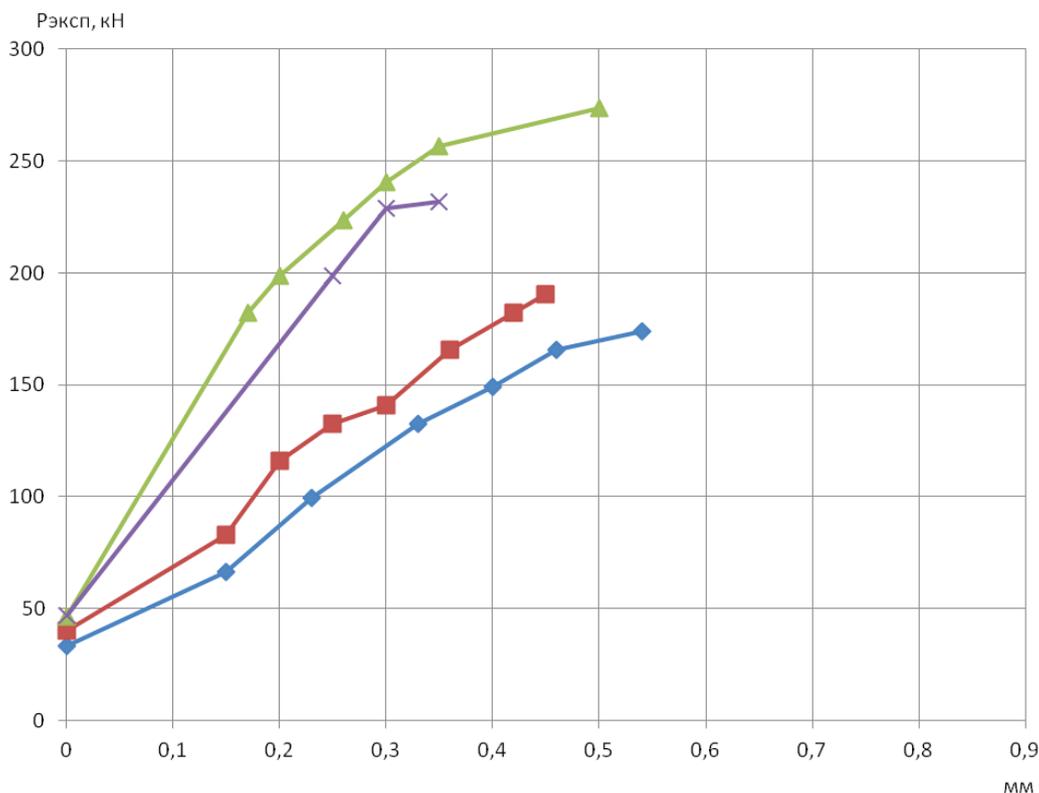


Рис. 5. Графики ширины раскрытия трещин в моделях серии Б-И25:

— Б-И25-1 (без усиления) — Б-И25-6 (без усиления)  
 — Б-И25-4 (лента) — Б-И25-5 (лента)

Анализ полученных результатов показывает, что усиление конструкций посредством систем внешнего армирования угле-

родными лентами позволяет уменьшить величину прогибов и ширины раскрытия трещин по сравнению с моделями без усиления.

Анализ результатов определения прогибов моделей показал следующее.

В контрольной модели Б-И15-1, изготовленной без усиления, величине прогиба 5,0 мм соответствует нагрузка 84,0 кН. В период наступления текучести в арматуре прогиб составил 5,6 мм при нагрузке 88,0 кН. Максимальный прогиб модели (7,5 мм) отмечался при нагрузке 94,5 кН.

В контрольной модели Б-И15-2, изготовленной без усиления, величине прогиба 5,0 мм соответствует нагрузка 78,0 кН. В период наступления текучести в арматуре прогиб составил 5,5 мм при нагрузке 83,0 кН. Максимальный прогиб модели (7,5 мм) отмечался при нагрузке 94,0 кН.

В модели Б-И15-3, усиленной углеродными лентами, величине прогиба 5,0 мм соответствует нагрузка 100,0 кН; величине прогиба 7,5 мм соответствует нагрузка 126,0 кН; величине прогиба 10,0 мм соответствует нагрузка 144,0 кН; величине прогиба 15,0 мм соответствует нагрузка 165,0 кН; величине прогиба 20,0 мм соответствует нагрузка 184,0 кН. Максимальный прогиб модели (23,4 мм) отмечался при нагрузке 195,0 кН. При средней нагрузке разрушения (наступление текучести в арматуре) моделей без усиления (85,5 кН) прогиб составил 3,5 мм.

В модели Б-И15-4, усиленной углеродными лентами, величине прогиба 5,0 мм соответствует нагрузка 80,0 кН; величине прогиба 7,5 мм соответствует нагрузка 115,0 кН; величине прогиба 10,0 мм соответствует нагрузка 144,0 кН. Максимальный прогиб модели (11,7 мм) отмечался при нагрузке 158,0 кН. При средней нагрузке разрушения (наступление текучести в арматуре) моделей без усиления (85,5 кН) прогиб составил 5,5 мм.

Сравнение результатов для моделей серии Б-И15 показывает, что среднее значение прогибов контрольных моделей (без усиления) в период наступления текучести в арматуре составило 5,55 мм при среднем значении нагрузки 85,5 кН; при том же значении нагрузки среднее значение прогибов моделей, усиленных углеродными лентами, составило 4,5 мм.

В контрольной модели Б-И25-1, изготовленной без усиления, величине прогиба 5,0 мм соответствует нагрузка 98,0 кН; величине прогиба 7,5 мм соответствует нагрузка 139,0 кН; величине прогиба 10,0 мм соответствует нагрузка 174,0 кН. В период наступления текучести в арматуре прогиб составил 9,2 мм при нагрузке 165,8 кН. В стадии развития текучести в арматуре величине

прогиба 10,0 мм соответствует нагрузка 174,0 кН. Максимальный прогиб модели (11,3 мм) отмечался при нагрузке 182,0 кН.

В контрольной модели Б-И25-6, изготовленной без усиления, величине прогиба 5,0 мм соответствует нагрузка 106,0 кН; величине прогиба 7,5 мм соответствует нагрузка 146,0 кН; величине прогиба 10,0 мм соответствует нагрузка 178,0 кН. В период наступления текучести в арматуре прогиб составил 8,7 мм при нагрузке 165,8 кН. В стадии развития текучести в арматуре величине прогиба 10,0 мм соответствует нагрузка 178,0 кН. Максимальный прогиб модели (10,9 мм) отмечался при нагрузке 182,0 кН.

В модели Б-И25-4, усиленной углеродными лентами, величине прогиба 5,0 мм соответствует нагрузка 150,0 кН; величине прогиба 7,5 мм соответствует нагрузка 204,0 кН; величине прогиба 10,0 мм соответствует нагрузка 239,0 кН. Максимальный прогиб модели (12,0 мм) отмечался при нагрузке 257,0 кН. При средней нагрузке разрушения (наступление текучести в арматуре) моделей без усиления (165,8 кН) прогиб составил 5,6 мм.

В модели Б-И25-5, усиленной углеродными лентами, величине прогиба 5,0 мм соответствует нагрузка 126,0 кН; величине прогиба 7,5 мм соответствует нагрузка 165,0 кН; величине прогиба 10,0 мм соответствует нагрузка 212,0 кН. Максимальный прогиб модели (12,9 мм) отмечался при нагрузке 236,5 кН. При средней нагрузке разрушения (наступление текучести в арматуре) моделей без усиления (165,8 кН) прогиб составил 6,8 мм.

Сравнение результатов для моделей серии Б-И25 показывает, что среднее значение прогибов контрольных моделей (без усиления) в период наступления текучести в арматуре составило 8,95 мм при среднем значении нагрузки 165,8 кН; при том же значении нагрузки среднее значение прогибов моделей, усиленных углеродными лентами, составило 6,2 мм.

Анализ результатов определения ширины раскрытия трещин в моделях показал следующее.

В контрольной модели Б-И15-1, изготовленной без усиления, образование трещин произошло при нагрузке 33,2 кН. Ширина раскрытия трещин 0,2 мм отмечалась при нагрузке 82,9 кН; ширина раскрытия трещин 0,3 мм – при нагрузке 92,8 кН. Скачок ширины раскрытия трещин от 0,3 мм до 0,4 мм (в период наступления текучести в арматуре) происходил в диапазоне нагрузки 92,8...94,5 кН.

Максимальная ширина раскрытия трещин составила 0,4 мм при нагрузке 94,5 кН.

В контрольной модели Б-И15-2, изготовленной без усиления, образование трещин произошло при нагрузке 23,2 кН. Ширина раскрытия трещин 0,2 мм отмечалась при нагрузке 74,6 кН; ширина раскрытия трещин 0,32 мм – при нагрузке 91,1 кН. Скачок ширины раскрытия трещин до 0,32 мм (в период наступления текучести в арматуре) происходил в диапазоне нагрузки 82,9...91,1 кН. Максимальная ширина раскрытия трещин составила 0,4 мм при нагрузке 94,0 кН.

В модели Б-И15-3, усиленной углеродными лентами, образование трещин произошло при нагрузке 29,8 кН. Ширина раскрытия трещин 0,2 мм отмечалась при нагрузке 103,4 кН; ширина раскрытия трещин 0,3 мм – при нагрузке 131,3 кН; ширина раскрытия трещин 0,4 мм – при нагрузке 159,2 кН; ширина раскрытия трещин 0,5 мм – при нагрузке 171,7 кН; ширина раскрытия трещин 0,6 мм – при нагрузке 179,0 кН. Максимальная ширина раскрытия трещин составила 0,8 мм при нагрузке 187,0 кН.

В модели Б-И15-4, усиленной углеродными лентами, образование трещин произошло при нагрузке 23,9 кН. Ширина раскрытия трещин 0,2 мм отмечалась при нагрузке 127,3 кН; ширина раскрытия трещин 0,3 мм – при нагрузке 148,6 кН; ширина раскрытия трещин 0,37 мм – при нагрузке 159,2 кН. Максимальная ширина раскрытия трещин составила 0,7 мм при нагрузке 175,2 кН.

В моделях серии Б-И15 ширина раскрытия трещин 0,3...0,32 мм отмечалась в контрольных моделях (без усиления) при среднем значении нагрузки 91,95 кН; в моделях, усиленных углеродными лентами, – при средней нагрузке 140,0 кН.

В контрольной модели Б-И25-1, изготовленной без усиления, образование трещин произошло при нагрузке 33,2 кН. Ширина раскрытия трещин 0,23 мм отмечалась при нагрузке 99,47 кН; ширина раскрытия трещин 0,33 мм – при нагрузке 132,6 кН; ширина раскрытия трещин 0,4 мм – при нагрузке 149,2 кН; ширина раскрытия трещин 0,46 мм – при нагрузке 165,8 кН (в период наступления текучести в арматуре). Максимальная ширина раскрытия трещин составила 0,7 мм при нагрузке 174,07 кН.

В контрольной модели Б-И25-6, изготовленной без усиления, образование трещин произошло при нагрузке 39,9 кН. Ширина раскрытия трещин 0,2 мм отмечалась

при нагрузке 116,1 кН; ширина раскрытия трещин 0,3 мм – при нагрузке 140,9 кН; ширина раскрытия трещин 0,36 мм – при нагрузке 165,8 кН (в период наступления текучести в арматуре). В стадии развития текучести в арматуре ширина раскрытия трещин 0,42 мм отмечалась при нагрузке 182,4 кН. Максимальная ширина раскрытия трещин составила 0,45 мм при нагрузке 190,6 кН.

В модели Б-И25-4, усиленной углеродными лентами, образование трещин произошло при нагрузке 46,4 кН. Ширина раскрытия трещин 0,2 мм отмечалась при нагрузке 198,9 кН; ширина раскрытия трещин 0,3 мм – при нагрузке 240,4 кН; ширина раскрытия трещин 0,38 мм – при нагрузке 256,3 кН. До начала разрушения была зафиксирована ширина раскрытия трещин 0,5 мм при нагрузке 273,5 кН.

В модели Б-И25-5, усиленной углеродными лентами, образование трещин произошло при нагрузке 46,8 кН. Ширина раскрытия трещин 0,25 мм отмечалась при нагрузке 198,9 кН; ширина раскрытия трещин 0,3 мм – при нагрузке 228,8 кН; ширина раскрытия трещин 0,35 мм – при нагрузке 232,0 кН. До начала разрушения была зафиксирована ширина раскрытия трещин 0,75 мм при нагрузке 232,0 кН.

В моделях серии Б-И25 ширина раскрытия трещин 0,3 мм отмечалась в контрольных моделях (без усиления) при среднем значении нагрузки 129,9 кН; в моделях, усиленных углеродными лентами, – при средней нагрузке 239,6 кН.

### Выводы

1. В целях обоснования новых технических решений по усилению железобетонных конструкций гидротехнических сооружений посредством внешнего армирования композитными материалами были проведены экспериментальные исследования железобетонных моделей, усиленных системой внешнего армирования углеродными лентами, по второй группе предельных состояний при действии изгибающего момента.

2. В ходе экспериментальных исследований фиксировались величины прогибов в центре пролета моделей и ширина раскрытия трещин, которые измерялись на каждом этапе нагружения моделей.

3. Определение уменьшения величины прогибов железобетонных моделей, усиленных углеродными лентами, и ширины раскрытия трещин в железобетонных моде-

лях выполнялось путем сравнения с результатами испытаний моделей, изготовленных без усиления, по второй группе предельных состояний.

4. Величина прогиба в центре пролета моделей серии Б-И15, изготовленных без усиления, равная 7,5 мм, отмечалась при нагрузках 94,0 кН (Б-И15-2) и 94,5 кН (Б-И15-1). Такая же величина прогиба (7,5 мм) в центре пролета моделей серии Б-И15, усиленных углеродными лентами, отмечалась при нагрузках 115,0 кН (Б-И15-4) и 126,0 кН (Б-И15-3).

Величина прогиба в центре пролета моделей серии Б-И25, изготовленных без усиления, равная 10,0 мм, отмечалась при нагрузках 174,0 кН (Б-И25-1) и 178,0 кН (Б-И25-6). Такая же величина прогиба (10,0 мм) в центре пролета моделей серии Б-И25, усиленных углеродными лентами, отмечалась при нагрузках 239,0 кН (Б-И25-4) и 212,0 кН (Б-И25-5).

5. В моделях серии Б-И15 ширина раскрытия трещин 0,3...0,32 мм отмечалась в контрольных моделях (без усиления) при среднем значении нагрузки 91,95 кН; в моделях, усиленных углеродными лентами, – при средней нагрузке 140,0 кН.

В моделях серии Б-И25 ширина раскрытия трещин 0,3 мм отмечалась в контрольных моделях (без усиления) при среднем значении нагрузки 129,9 кН; в моделях, усиленных углеродными лентами, – при средней нагрузке 239,6 кН.

6. Анализ результатов экспериментальных исследований железобетонных моделей, усиленных углеродными лентами, показал, что для моделей серии Б-И15 величина прогибов снизилась на 18,9%; для моделей серии Б-И25 величина прогибов снизилась на 30,7%.

7. Анализ результатов экспериментальных исследований железобетонных моделей, усиленных углеродными лентами, показал, что в моделях серии Б-И15 шири-

на раскрытия трещин снизилась на 52,3%; в моделях серии Б-И25 ширина раскрытия трещин снизилась на 71,5%.

8. Результаты проведенных экспериментальных исследований были использованы при разработке методики расчета железобетонных конструкций гидротехнических конструкций гидросооружений, усиленных внешним армированием из композитных материалов.

#### Библиографический список

1. Александров А.В., Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Балагуров В.Б. Расчетное обоснование и технические решения по усилению железобетонных конструкций ГЭС (ГАЭС), имеющих трещины различного направления, при действии комплекса нагрузок // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 6. С. 50-54.

2. Рубин О.Д. Новая технология ремонта ГТС посредством армирования композитными материалами / О.Д. Рубин, С.Е. Лисичкин, В.Б. Балагуров, А.В. Александров // Известия ВНИИГ. Т. 280. 2016. С. 3-10.

3. Рубин О.Д. Результаты экспериментальных исследований железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных углеродными лентами, при действии изгибающего момента / О.Д. Рубин, С.Е. Лисичкин, К.Е. Фролов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 6. С. 58-63.

Материал поступил в редакцию 28.09.2016 г.

#### Сведения об авторе

**Фролов Кирилл Евгеньевич**, заместитель генерального директора по научно-проектной деятельности, ПАО «РусГидро», 127006, г. Москва, ул. Малая Дмитровка, д. 7; тел.: 8-800-333-80-00 (доб.1643); e-mail: FrolovKE@rushydro.ru

**K.E. FROLOV**

Public joint-stock company «RusHydro» (PAO «RusHydro»), Moscow, Russian Federation

## EXPERIMENTAL RESEARCH RESULTS OF THE BENDABLE REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS OF HYDRAULIC STRUCTURES STRENGTHENED WITH CARBON TAPES ON THE SECOND GROUP OF LIMITING STATES

*Experimental research was carried out on reinforced concrete models strengthened with carbon tapes to reduce the bending moment effect. For modeling typical constructions of hydraulic structures were taken with a low percentage of reinforcement (up to 1%) made of concrete B15 and B25 classes.*

*Strengthening of reinforced concrete models was performed by sticking carbon tapes FibArm Tape 230/300, width – 300 mm on the lower stretched face of models. Values of flexures and opening width of cracks were determined in reinforced concrete constructions of hydraulic structures with and without reinforced carbon tapes. For measuring bends there were placed indicators of a clock type with a grading mark 0.01 mm on supports and in the center of the span were as well as measurements were made by means of microscope MPB-2. The value of bends and opening width of cracks were monitored at every stage of models loading. As a result of the fulfilled investigations there was determined a reduction of the value of bends and opening width of cracks i.e. increasing of the rigidity and crack resistance due to strengthening of reinforced concrete constructions with carbon tapes.*

*Bendable reinforced concrete constructions; hydraulic structures; strengthening; carbon tapes; experimental research; the bending moment; the second group of limit states; deflections; crack opening width.*

### References

1. Alexandrov A. V., Rubin O.D., Lisichkin S.E., Balagurov V.B. Raschetnoe obosnovanie i tehicheskie resheniya po usileniyu zhelezobetonnyh constructsij GES (GAES), imyushchih treshchiny razlichnoigo napravleniya, pri dejstvii complexa nagruzok // Stroitel'naya mehanika inzhenernyh constructsij i sooruzhenij. 2014. № 6. S. 50-54.

2. Rubin O.D. Novaya tehnologiya remonta GTS posredstvom armirovaniya kompozitnymi materialami / O.D. Rubin, S.E. Lisichkin, V.B. Balagurov, A.V. Alexandrov // Izvestiya VNIIG. T. 280. 2016. S. 3-10.

3. Rubin O.D. Rezul'taty eksperimental'nyh issledovanij zhelezobetonnyh construct-

sij hidrotehnicheskikh sooruzhenij, usilennyh uglerodnymi lentami, pri dejstvii izgibayushchego momenta / O.D. Rubin, S.E. Lisichkin, K.E. Frolov // Stroitel'naya mehanika inzhenernyh constructsij i sooruzhenij. 2016. № 6. S. 58-63.

The material was received at the editorial office  
28.09.2016

### Information about the author

**Frolov Kirill Yevgenjevich**, deputy general director on research-project activity, PAO «RusHydro», 127006, Moscow, ul. Malaya Dmitrovka, d. 7; tel.: 8-800-333-80-00 (ext.1643); e-mail: FrolovKE@rushydro.ru

УДК 502/504:556.18: 627.51

**А.Н. РОКОЧИНСКИЙ, Я.Я. ЗУБИК, Л.А. ВОЛКОВА, Д.Н. ТРОФИМЧУК**

Национальный университет водного хозяйства и природопользования (НУВХП) г. Ровно, Украина

## СТРУКТУРА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОПУСКОМ ПАВОДКОВ В УСЛОВИЯХ ПРИКАРПАТЬЯ

*Рассмотрены возникающие наводнения в Карпатском регионе как экстремальные гидрологические ситуации, которые отличаются значимой частотой, интенсивностью протекания и одновременным охватом больших площадей. Проанализированы природно-климатические особенности Прикарпатья и прилегающих к ним территорий. Рассмотрены научно обоснованные подходы к созданию системного управления пропуском паводков. Представлены принципы и особенности функционирования систем заблаговременного прогнозирования прохождения паводков. Предлагаются все три традиционных уровня принятия решений во времени: оперативное управление в режиме реального времени и краткосрочного прогноза метеофакторов; плановое управление, которое определяет на основе оценки аккумулирующей способности речного бассейна или его отдельных элементов, безопасность или необходимость в дополнительных мероприятиях и сооружениях (или их реконструкции) на основе долгосрочного прогноза; уровень проекта, на котором разрабатываются соответствующий проект строительства или реконструкции необходимых сооружений на установленную для условий реального объекта оптимальную расчетную обеспеченность; объединение во взаимосвязанную систему управления паводками с соответствующими шагами их реализации на основе создания единой подсистемы информационного, прежде всего –*

метеорологического обеспечения. В основу выработки управленческих решений на всех трех уровнях их принятия во времени предложена оценка аккумулирующей способности речного бассейна, как потенциальная способность принять определенное количество воды без нарушений эколого-экономической ситуации в его пределах. Представлены основные принципы создания и реализации саморазвивающейся системы формирования базы данных соответствующего метеорологического обеспечения. Предполагается перспективная общая эффективность усовершенствованной системы пропуска паводков.

*Структура, метеорологическое обеспечение, системное управление, пропуск паводков, условия Прикарпатья.*

**Введение.** Наиболее паводкоопасной территорией как в Украине, так и в Европе являются Карпаты и прилегающие к ним предгорные районы, к которым относятся и Прикарпатье. Наводнения и паводки в Прикарпатье отличаются значительной частотой, интенсивностью протекания и одновременным охватом больших площадей.

Основными причинами формирования паводков в бассейнах предгорных рек являются природно-климатические особенности Карпатского региона. Так, для водосбора реки Прут характерны экстремальное количество и продолжительность осадков, которые формируются под действием циклонов из Атлантики и Средиземного моря. Максимальное суточное количество осадков, которое было зафиксировано, приближается к 300 мм. За последние 100 лет количество осадков за месяц 8 раз превышало 500 мм. В отдельных местах годовое количество осадков приближалось к 1600 мм. Большое количество осадков в сочетании с другими природными и антропогенными факторами приводит к формированию наводнений и паводков различной интенсивности, повторяющихся 3...8 раз в год [1].

Высокая повторяемость наводнений и паводков в Прикарпатье, катастрофические последствия, к которым они приводят, требуют детального изучения условий формирования и прогнозирования их развития. Это экономически выгоднее и, как следствие, приводит к меньшим негативным последствиям. В паводкоопасных районах необходимо иметь постоянную достоверную информацию о состоянии режима рек и атмосферы в сочетании с другими природными и антропогенными факторами, что позволит прогнозировать изменение уровней и расходов воды, заблаговременно предупреждать о возможных угрозах затопления.

**Материалы и методы.** В 2008 г. Госводхозом Украины была разработана «Схема комплексной противопаводковой защиты в бассейне рек Днестр, Прут и Сирет». Одной из составных частей схемы является создание автоматизированной информационно-измерительной системы «Прикарпатье» (АИИС «Прикарпатье») [2].

Научное обоснование схемы базируется на детальном анализе генезиса, причин и последствий паводков и наводнений на реках Прикарпатья. В ней изучен и обобщён современный опыт создания ранее таких систем в Закарпатье, а также территории европейских стран. В частности, система предупреждения паводков EFAS [3] разработана Объединенным исследовательским центром Европейской комиссии (ЕК) и является оперативной системой гидрологического прогноза в масштабах Европы. Она охватывает данные более чем 5000 метеорологических и гидрологических станций Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), Германской службы погоды (DWD), Метеорологического консорциума (COSMO-LEPS) и др., а также предоставляет гидрологический прогноз с заблаговременностью 10 сут. для почти 500 водосборов, который распространяется на национальные гидрометеорологические центры стран Европейского Союза и на основе которого в режиме реального времени создаются карты рисков возможных подтоплений [4].

Система взаимосвязанных программ НЕС для комплексного управления водными ресурсами работает на многих водосборах в США [5]. Например, для моделирования речного стока используется полураспределенная модель НЕС-HMS, которая реализует как концептуальный, так и физически обоснованный подход. В модели водосбор представляет собой совокупность подводосборов, в которых процессы стоко-

формирования представляются боксами поверхностного и внутрипочвенного слоя. Процесс инфильтрации и водный баланс в почве может описываться эмпирической кривой SCS или решением уравнения Грина-Емпта. Поверхностный сток рассчитывается с применением уравнения кинематической волны или методом единичного гидрографа. Модели водосборов, созданные на базе НЕС-HMS [6], могут быть интегрированы в прогностическую систему НЕС-RTS, которая в сочетании с базой данных мониторинга НЕС-DSS используется как оперативная прогностическая система реального времени. Поэтому основная цель, которая была заложена в ранее созданную АИИС «Тиса» в Закарпатье, – это оперативное прогнозирование гидрографов паводков на реках бассейна с помощью специального математического, информационного и программного обеспечения; подготовка достоверной прогнозной информации о параметрах паводка и передача ее в автоматическом режиме соответствующим службам оповещения и противопаводковым подразделениям; выдача рекомендаций для принятия управленческих решений по безаварийному пропуску паводков.

В «Схеме комплексной противопаводковой защиты в бассейне рек Днестр, Прут и Сирет» для наблюдения за факторами, которые вызывают паводки, предлагается создание АИИС «Прикарпатье». Концепция АИИС «Прикарпатье» разработана Венгерским институтом «Визитерн», которая аналогична ранее созданной и уже действующей АИИС «Тиса». Предполагается модернизация системы гидрометеорологических наблюдений в бассейнах рек Днестр, Прут и Сирет, средств и способов их проведения, непрерывность передачи результатов измерений всех автоматических станций, постов, осадкомеров в режиме реального времени с определенных мест их сбора. Кроме того, в рамках внедрения информационно-измерительной системы предполагается техническое и технологическое переоснащение средств проведения гидрологических измерений и работ, установка двух метеорологических локаторов в Черновцах и Львове с соответствующим программным комплексом моделей типа «Осадки-сток».

Анализ работы АИИС, которые ранее были введены в эксплуатацию, показал,

что при работе системы в режиме реального времени не обеспечиваются необходимые уровни заблаговременного прогноза и предупреждения прохождения катастрофического паводка на всем пути его формирования. Нет возможности провести анализ эффективности системы управления по всему спектру возможной реализации природно-климатических условий, а соответственно – обосновать необходимость строительства или реконструкции водопропускных, аккумулирующих и регулирующих сооружений в бассейнах рек.

**Результаты и обсуждения.** Исходя из опыта функционирования Европейской системы предупреждения паводков EFAS [3], системы взаимосвязанных программ НЕС, которая используется как оперативная прогностическая система в режиме реального времени на многих водосборах США [5], а также создания информационно-советующей системы управления мелиоративными объектами как сложными природно-техническими системами в Украине [7-9], для сквозного решения поставленных задач по управлению пропуском паводков, таких, как создание карт рисков затоплений, разработка планов предупреждения (предотвращения) и действий в чрезвычайных ситуациях, проектов развития ситуации на территории включая их инженерную защиту и др., целесообразно рассматривать во взаимосвязи все три традиционных уровня принятия решений во времени.

При традиционном подходе [7] уровни принятия решений во времени являются относительно самостоятельными, включают в себя: 1) *проект*; 2) *плановое управление объектом*; 3) *оперативное управление объектом* – и обеспечиваются соответствующим видом прогноза влияющих факторов. Поэтому для каждого уровня необходимо разрабатывать существенно различные модели оптимизации технических и технологических решений, а также имитационные модели по прогнозной оценке эффективности водорегулирования для сформулированных целей, выбранных критериев оптимизации, структуры расчетов по их реализации.

Согласно нашим предложениям [10, 11] при **системном управлении** пропуском паводков (СУПП) уровни принятия решений следует рассматривать во взаимосвязи: 1) оперативное управление; 2) плановое

управление; 3) проект. Все три уровня взаимосвязаны и опираются на единый модельный комплекс для системы вида «Объект → внешняя среда → их взаимодействие» и общую базу соответствующего информационного, прежде всего – метеорологического обеспечения [11].

**Первый уровень** принятия решений во времени – это оперативное управление пропуском паводков (УПП) в режиме: а) реального времени; б) возможных краткосрочных прогнозов метеофакторов: сверхсрочного (до 3 часов), краткосрочного (до 3 дней) и среднесрочного (до 10 дней) – в зависимости от принятого в конкретных условиях реального объекта реального шага реализации прогнозных моделей.

На **втором уровне** принятия решений осуществляется разработка системных планов по управлению пропуском паводков на основе долгосрочного прогноза, обосновываются соответствующие технологии водорегулирования в речном бассейне для следующего сезона в разрезе принятых типовых (расчётных по условиям их тепло- и влагообеспеченности) сценариев реализации метеорологических режимов исследуемых условий реального объекта.

Этот уровень стратегически важен, поскольку позволяет в широком диапазоне возможных сценариев развития событий определить места возникновения рисков затопления, потребность в дополнительном строительстве или реконструкции противопаводковых сооружений, установить возможность комплекса сооружений или отдельных сооружений речного бассейна выдержать динамические нагрузки разрушительной силы потоков воды при прохождении паводков.

Решение этого вопроса возможно только благодаря выполнению детальных прогнозных режимных расчетов на долгосрочной основе для различных альтернативных вариантов схем водорегулирования в речном бассейне и выбора оптимальных из них в изменчивых климатических условиях по всему спектру расчетных лет.

Если существует потребность в строительстве или реконструкции сооружений, то в силу вступает **третий уровень** принятия решений во времени, задача которого состоит в разработке проектов нового строительства и реконструкции аккумулирующих, водорегулирующих и водопропускных сооружений в речном бассейне [8].

На стадии проектов нового строительства и реконструкции существующего каскада сооружений в речном бассейне необходимо обосновать и определить оптимальное решение относительно типа, конструкции и параметров сооружений, обусловленных принятым способом (схемой) водорегулирования в бассейне реки при существующих природно-хозяйственных условиях.

Исходя из имеющихся видов прогноза относительно уровней принятия решений во времени (1 – оперативное управление; 2 – плановое управление; 3 – проект), для выполнения режимных прогнозно-оптимизационных расчетов на долгосрочной или краткосрочной основе необходимо исходить из разработки соответствующего прогноза климатических или погодных условий, традиционно относящихся к так называемому климатологическому прогнозу.

Климатологические прогнозы – это прогнозы, в которых в качестве прогнозируемой величины берутся средние многолетние значения (нормы) необходимых метеорологических величин или их нормированное распределение за расчетный период времени (многолетний, годовой, вегетационный период и др.) [8].

Модель прогнозной оценки метеорологических режимов является первым звеном в цепи реализации любых режимных прогнозно-имитационных расчетов на долгосрочной или краткосрочной основе, от точности которых напрямую зависят результаты всех последующих вычислений, вплоть до окончательного принятия управленческих, проектных или экспертных решений. При этом вид и уровень сложности таких моделей, их методическое и информационное обеспечение должны отвечать главному требованию: быть достаточно эффективными и относительно простыми, пригодными для их практического применения в прогнозных режимных расчетах.

При системном управлении пропуском паводков информационное обеспечение базы данных может формироваться, пополняться, расширяться и развиваться за счет включения в нее данных как многолетних ретроспективных наблюдений за основными метеофакторами, так и их формирования в текущие годы функционирования системы управления в районе речного бассейна, образуя саморазвивающуюся систему базы данных метеорологического обеспечения СУПП (рис.).

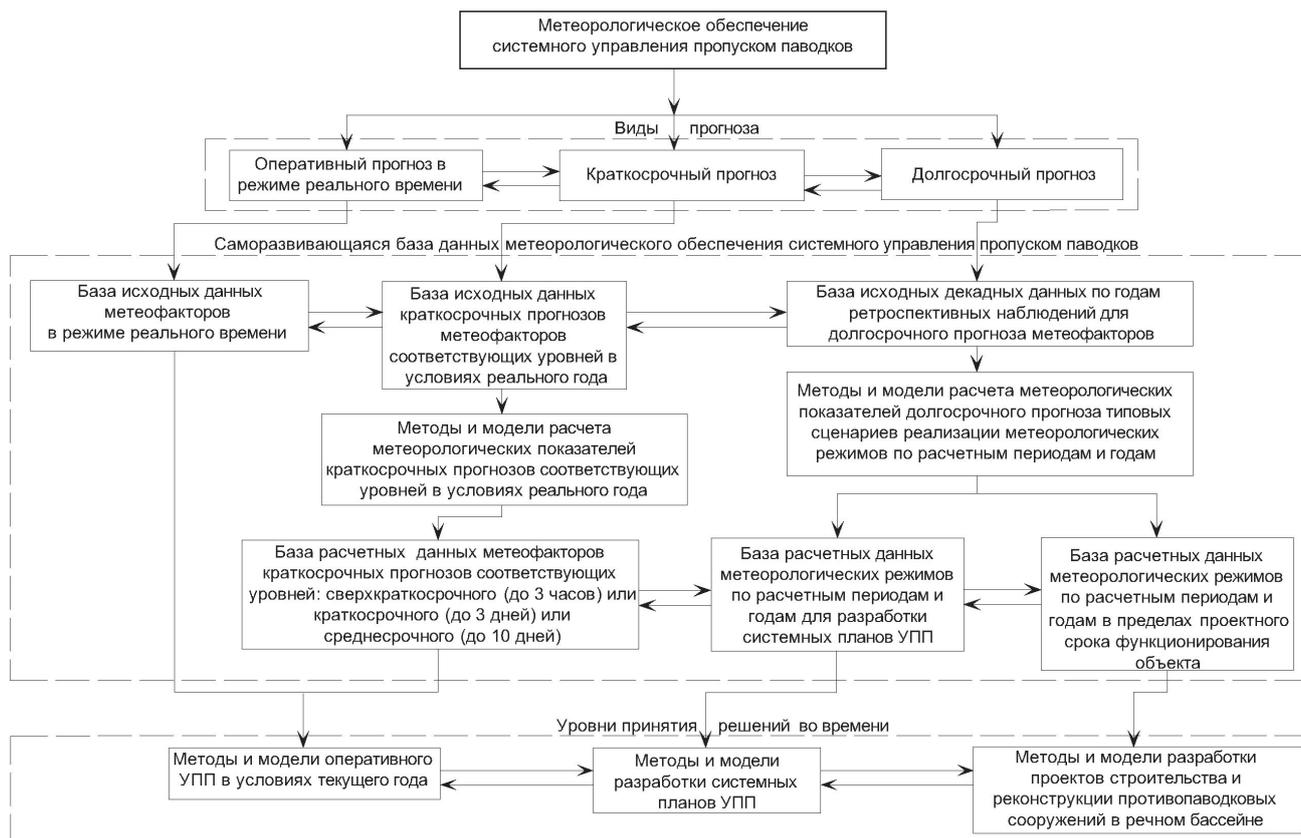


Рис. Схема реализации саморазвивающейся системы формирования базы данных метеорологического обеспечения при системном управлении пропуском паводков

Точность полученных расчетов зависит от уровня принятия решений во времени, вида прогноза метеорологических факторов и шага реализации модели (час, сутки, пентада, декада, месяц, холодный или теплый период года, год, проектный срок функционирования объекта). Для этого могут быть эффективно использованы уже существующие и апробированные на практике методы и модели создания необходимого метеорологического обеспечения долгосрочных и краткосрочных прогнозов, разработанные нами для управления водохозяйственно-мелиоративными объектами и комплексами, регламентируемые соответственными отраслевыми нормативами в системе водного хозяйства Украины [7-9].

Такие модели основаны на исследовании изменчивости метеофакторов во времени с помощью многомерного статистического анализа с использованием ПЭВМ, схематизации метеорологических режимов на основании комплексной совместной оценки метеофакторов и построенных на их основе метеорологических комплексов, определении и формализации закономерностей формирования их в многолетнем и внутри-вегетационном разрезе с использованием

периодических кривых Фурье разного порядка в зависимости от требуемой точности прогноза с заданным расчётным шагом реализации модели. Так, при наличии данных многолетних наблюдений за основными метеофакторами мы имеем массивы исходных данных (баз данных), которые могут быть представлены в векторно-матричном виде как

$$\bar{x}_{fj\tau} = \{ \bar{x}_{fj\tau} \} = (P_{\tau}, \bar{T}_{\tau}, \bar{D}_{\tau}, \bar{H}_{\tau}),$$

$$f = \overline{1, n_f}; j = \overline{1, n_j}; \tau = \overline{1, n_{\tau}}, \quad (1)$$

где  $\bar{x}_{fj\tau}$  – векторы состояния (массивы данных ретроспективных срочных наблюдений) основных метеофакторов совокупности  $\{f\}$ ,  $f = \overline{1, n_f}$  ( $n_f = 4$ ): сумм осадков ( $P_{\tau}$ , мм) и средних значений температуры ( $\bar{T}_{\tau}$ , °C), дефицита ( $\bar{D}_{\tau}$ , мм) и относительной влажности воздуха ( $\bar{H}_{\tau}$ , %) – за расчетные интервалы времени (например, сутки, пентада, декада) совокупности  $\{\tau\}$ ,  $\tau = \overline{1, n_{\tau}}$  внутри вегетационного периода  $j$ -х лет наблюдений совокупности  $\{j\}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$ .

Наличие такой базы исходных данных и возможность их дальнейшего статистического и структурного преобразований позволяют получить типовые распределения основных необходимых метеофакторов для принятого за основу расчётного шага реали-

зации прогнозной модели в типовые или характерные (расчетные) по условиям тепло- и влагообеспеченности периоды (например, для периодов вегетации:  $p = 10\%$  – очень влажные;  $p = 30\%$  – влажные;  $p = 50\%$  – средние;  $p = 70\%$  – сухие;  $p = 90\%$  – очень сухие включая при необходимости их выделенные экстремальные значения) совокупности  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  ( $n_p = 5$ ). Такое количество типовых схем метеорологических режимов является достаточным для инженерной практики выполнения прогнозно-оптимизационных расчетов на долгосрочной основе.

Конечный результат сформулированной задачи может быть представлен аналогично (1) в векторно-матричном виде как

$$\bar{x}_{fpt} = \{x_{fpt}\} = (P_{pt}, \bar{T}_{pt}, \bar{D}_{pt}, \bar{H}_{pt}),$$

$$f = \overline{1, n_f}; p = \overline{1, n_p}; \tau = \overline{1, n_\tau}, \quad (2)$$

$W_{фак}$  – фактический объем воды, содержащийся (попустил) в пределах бассейна реки;  $W_{аку}$  – объем воды, который аккумулируется в пределах бассейна реки без нарушений эколого-экономической ситуации в нём.

Использование такого показателя в принципе [7, 12, 13] позволяет в дальнейшем осуществлять универсальное по своей сути нормирование параметров ущерба от прохождения паводков для всех уровней принятия решений во времени, постановку и решение соответствующих прогнозно-оптимизационных задач по определению параметров расчетной обеспеченности, необходимых технологических (модули, расходы и объёмы стока, уровни воды прохождения паводка) и технических параметров (тип, конструкция регулирующих и аккумулирующих ПГТС) принимаемых решений.

### Выводы

Таким образом, поскольку наводнения и паводки наносят значительный ущерб экономике и населению Прикарпатья, а существующее положение службы гидрологического оповещения в бассейнах рек Днестр, Прут и Сирет не может обеспечить прогноз и заблаговременное предупреждение прохождения и параметры паводков, возникает насущная необходимость совершенствования существующих и создаваемых систем управления пропуском паводков с учетом современных подходов. Это позволит эффективно контролировать и прогнозировать процесс формирования и прохождения паводков на основе сочетания всех трех тра-

диционных уровней принятия решений во времени: оперативного управления в режиме реального времени и краткосрочного прогноза метеофакторов; планового управления, которое определяет на основе оценки аккумулирующей способности речного бассейна или его отдельных элементов безопасность или необходимость дополнительных мероприятий и сооружений (или их реконструкции) на основе долгосрочного прогноза; уровня проекта, на котором разрабатывается соответствующий проект строительства или реконструкции необходимых сооружений на заданную для условий реального объекта оптимальную расчетную обеспеченность. Это позволит в максимальной мере минимизировать ущерб от паводков и наводнений в регионе Прикарпатья и других аналогичных условиях.

### Библиографический список

1. Дзюба Я.В., Трофимчук Д.М., Живиця А.В., Рокочинський А.М. Автоматизована інформаційно-вимірювальна система "Прикарпаття" для прогнозування повеней // Вісник НУВГП. 2015. № 3(71): Технічні науки. С. 303-307.
2. Техніко-економічне обґрунтування створення інформаційно-вимірювальної системи «Прикарпаття» в басейні річки Прут на території Чернівецької області. 1. Пояснювальна записка. К.: Укрводпроект, 2011. 34 с.
3. Bartholmes J.C., Thielen J., Ramos M. – H. et al. The european flood alert system efaspart 2: statistical skill assessment of probabilistic and deterministic operational forecasts // Hydrology and Earth System Sciences. 2009. Vol. 13. № 2. P. 141-153.
4. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. Управление риском трансграничных наводнений: опыт региона ЕЭК ООН. Нью Йорк и Женева, 2009.
5. Knebl M.R., Yang Z. – L., Hutchison K. et al. Regional scale flood modeling using nexrad rainfall, gis, and hec-hms/ras: a case study for the san antonio river basin summer 2002 storm event // Journal of Environmental Management. 2005. Vol. 75. № 4. P. 325-336.
6. Fleming M. Description of the hydrologic engineering center's hydrologic modeling system (HEC-HMS) and application to watershed studies / M. Fleming // DTIC Document, 2004. 17 p.
7. Рокочинський А.М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осу-

шуваних земель на еколого-економічних засадах: Монографія // За ред. академіка УААН Ромащенко М.І. Рівне: НУВГП, 2010. 351 с.

8. Посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди». Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем / А.М. Рокочинський, В.А. Сташук, В.Д. Дупляк, В.М. Бежук та ін. Рівне, 2008. 64 с.

9. Методичні рекомендації по науково-методичних та організаційних засадах управління водогосподарсько-меліоративними об'єктами гумідної зони України за короткотерміновим метеорологічним / А.М. Рокочинський, Я.Я. Зубик, Л.В. Зубик, Є.І. Покладньов та ін. Рівне, 2005. 53 с.

10. Рокочинский А.Н., Дзюба Я.В., Живица В.А., Трофимчук Д.Н. Усовершенствование системы управления пропуском паводков в условиях Прикарпатья // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: сборник научных статей. Б.: БрГТУ, 2016. С. 122-127.

11. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір за. № 66385 від 05.07.2016 г. «Усовершенствование системы управления пропуском паводков в условиях Прикарпатья».

12. Галямин Е.П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 272 с.

13. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель (рекомендации) / И.П. Айдаров, А.И. Голованов, Ю.Н. Никольский. М.: Агрометеиздат, 1990. 60 с.

Матеріал посту́пил в редакцію 30.05.2016 г.

#### Сведения об авторах

**Рокочинский Анатолий Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой природообустройства и гидромелиораций, НУВХ, Украина, 33028, г. Ровно, ул. Соборная, д. 11; тел.: 380 (096) 244 15 42; e-mail: -ekoteh-@ukr.net

**Зубик Ярослав Ярославович**, старший преподаватель кафедры прикладной математики, НУВХП, Украина, 33028, г. Ровно, ул. Соборная, д. 11; тел.: 38099308077; e-mail: j.j.zubyk@nuwm.edu.ua

**Волкова Людмила Андреевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры водохозяйственной экологии, гидрологии и гидравлики, НУВХП, Украина, 33028, г. Ровно, ул. Соборная, д. 11; тел.: 380975642592, e-mail: l.a.volkova@nuwm.edu.ua

**Трофимчук Дмитрий Николаевич**, аспирант кафедры природообустройства и гидромелиорации, НУВХП, Украина, 33028, г. Ровно, ул. Соборная, д. 11; тел.: 380 (067) 8411321; e-mail: dmitro\_trofimchuk\_91@mail.ua

**A.N. ROKOCHINSKY, YA.YA. ZUBIK, L.A. VOLKOVA, D.N. TROFIMCHUK**

National university of water economy and nature management (NUWENM), Rovno, the Ukraine

## STRUCTURE OF METEOROLOGICAL SUPPORT FOR FLOOD DISCHARGE SYSTEM MANAGEMENT UNDER THE CONDITIONS OF PRYKARPATTYA

*There are considered arising floods in the Carpathian region as extreme hydrological situations which differ by a significant frequency, intensity of passing*

*and simultaneous coverage of large areas. Natural and climatic features of the Carpathian region and adjacent territories have been analyzed. Scientifically substantiated approaches to creating a floods discharge system management have been considered. There are given principles and peculiarities of the systems functioning of early floods discharge prediction. There are proposed all three traditional levels of decision making in time: real time operational management and short-term prognosis of meteorological characteristics; planned management which determines on the basis of the assessment of river basin or its separate elements accumulating capacity, safety or necessity in additional measures and structures (or their reconstruction) taking into account the long-term forecast; and project level when the appropriate project of building or reconstruction of necessary structures on the defined for real object conditions and optimal estimated occurrence is worked out. This level combines into the interconnected system of floods management with appropriate steps for their implementation by creating a unified subsystem of information, first of all meteorological support. As the basis for the development of management decisions at all three time levels*

*there is proposed an assessment of the river basin accumulation capacity as the potential ability to accumulate a certain amount of water without disruption of the environmental and economic situation in the basin. There are presented the main principles of creation and implementation of the self-developing system of formation of the meteorological support database. There is proposed a perspective general efficiency of the improved system of flood discharging.*

*Structure, meteorological support, system management, floods discharge, conditions of Prykarpattia.*

### References

1. Dzyuba Ya.V., Trofimchuk D.M., Zhivitsya A.V., Rokochinsjky A.M. Автоматизована інформаційно-вимірювальна система «Прикарпаття» для прогнозування повеней // Вісник НУВГП. 2015. № 3(71): Технічні науки. С. 303-307.
2. Техніко-економічне обґрунтування створення інформаційно-вимірювальної системи «Прикарпаття» в басейні річки Прут на території Чернівецької області. 1. Пояснювальна записка. К.: Укрводпроект, 2011. 34 с.
3. Bartholmes J.C., Thielen J., Ramos M. – H. et al. The european flood alert system efaspart 2: statistical skill assessment of probabilistic and deterministic operational forecasts // Hydrology and Earth System Sciences. 2009. Vol. 13. № 2. P. 141-153.
4. Konventsiya po ohrane i ispolzovaniyu transgranichnyh vodotokov i mezhdunarodnyh ozer. Upravlenie riskom transgranichnyh navodnenij: opyt regiona EEK OON. New York i Zheneva, 2009.
5. Knebl M.R., Yang Z. – L., Hutchison K. et al. Regional scale flood modeling using nexrad rainfall, gis, and hec-hms/ras: a case study for the san antonio river basin summer 2002 storm event // Journal of Environmental Management. 2005. Vol. 75. № 4. P. 325-336.
6. Fleming M. Description of the hydrologic engineering center's hydrologic modeling system (HEC-HMS) and application to watershed studies / M. Fleming // DTIC Document, 2004. 17 p.
7. Rokochinsjkiy A.M. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: Монографія // За ред. академіка УААН Ромащенко М.І. Рівне: НУВГП, 2010. 351 с.
8. Посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди». Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем / А.М. Рокочинський, В.А. Сташук, В.Д. Дупляк, В.М. Бежук та ін. Рівне, 2008. 64 с.
9. Методичні рекомендації по науково-методичних та організаційних засадах управління водогосподарсько-меліоративними об'єктами гумідної зони України за короткотерміновим метеорологічним / А.М. Рокочинській, Я.Я. Зубик, Л.В. Зубик, Є.І. Покладньов та ін. Рівне, 2005. 53 с.
10. Rokochinsjky A.M., Dzyuba Ya.V., Zhivitsya A.V., Trofimchuk D.N. Uovershenstvovanie sistemy upravleniya propuskom pavadkov v usloviyah Prikarpatja // Aktualnye nauchno-tehnicheskie i ecoogicheskie problem sohraneniya sredy obitaniya: sbornik nauchnyh statej. B.: BrGTU, 2016. S. 122-127.
11. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір за № 66385 від 05.07.2016 г. «Усовершенствование системы управления пропуском паводков в условиях Прикарпаття».
12. Galyamin E.P. Optimizatsiya operativnogo respredeleniya vodnyh resursov v oroshenii. L.: Hydrometeoizdat, 1981. 272 s.
13. Optimizatsiya meliorativnyh rezhimov oroshaemyh i osushaemyh sel'skohozyaistvennyh zemel (recomendatsii) / I.P. Aidarov, A.I. Golovanov, Yu.N. Nikoljsky. M.: Agrometeoizdat, 1990. 60 s.

The material was received at the editorial office  
30.05.2016

### Information about the authors

**Rokochinskiy Anatolij Nikolaevich**, doctor of technical sciences, professor, head of of the chair of environmental engineering and water conservation, NUVHP, Ukraine, 33028, Rovno, ul. Sobornaya, d.11; tel.: 380 (096) 244 15 42; e-mail: -ekoteh-@ukr.net

**Zubik Yaroslav Yaroslavovich**, senior lecturer of the chair of the applied mathematics, NUVHP, Ukraine, Rovno, ul. Sobornaya, d.11; tel.:38099308077; e-mail: j.j.zubyk@nuwm.edu.ua

**Volkova Lyudmila Andreevna**, candidate of agricultural sciences, professor of agricultural sciences of the chair of water economic ecology, hydrology and hydraulics, NUVHP, Ukraine, 33028, Rovno,

ul. Sobornaya, d.11; tel.: 380975642592,  
e-mail: l.a.volkova@nuwm.edu.ua

**Trofimchuk Dmitrij Nikolaevich,**  
post-graduate student of the chair of environ-

mental engineering and water conservation,  
NUVHP, Ukraine, 33028, Rovno, ul. Sobor-  
naya, d.11; tel.: 380 (067) 8411321; e-mail:  
dmitro\_trofimchuk\_91@mail.ua

УДК 502/504:627.83: 532.533

**В.А. ЗИМНЮКОВ, М.И. ЗБОРОВСКАЯ, А.И. ЗАЙЦЕВ**

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГЛУБИННОГО ВОДОСБРОСА С СЕГМЕНТНЫМ ЗАТВОРОМ

*Рассмотрена работа высоконапорного глубинного водосброса с сегментным затвором, наличием порога и диффузорной несимметричной отводящей частью при пропуске максимального расчётного расхода с определением возможности возникновения кавитации. В качестве примера анализируется пропуск паводка через гидроузел. Выявляются причины возникновения кавитации в отводящем водосбросном тракте с определением скоростного режима и изучением пьезометрических напоров в расчётных створах на основе данных, полученных при работе модели водосброса масштаба М 1:50. Анализ полученных данных показывает, что при заданных условиях работы водосброса кавитация будет возникать при наличии любого потенциального возбудителя в безнапорной части водосброса при расходе сбрасываемого потока свыше 400 м<sup>3</sup>/с. Для исключения возможности образования кавитации и обеспечения безаварийной эксплуатации водосброса необходимо изменить конструкцию отводящей части водосброса (сгладить повороты, расширение диффузорной части сделать более плавным, заменить материалы на более кавитационностойкие, уменьшить шероховатость поверхности бетона путём полировки/шлифовки) или изменить характеристики потока воды (увеличить степень аэрированности потока, уменьшить скорость потока). Также рекомендуется уменьшить пропускаемый расход воды с увеличением срока попуска паводка и значительным предпаводковым опорожнением водохранилища в многоводные годы. Результаты эксперимента совпадают с ситуаций на натурном объекте: в расчётном створе, где наблюдается сильное падение избыточного давления воды, на натурном объекте зафиксированы кавитационные каверны в боковых стенках и дне водосброса.*

*Курпсайский гидроузел, глубинный водосброс, кавитация, модельные исследования, модель глубинного водосброса, гидравлические исследования, скорость потока.*

**Введение.** Вероятность возникновения кавитации в тракте глубинного водосброса обеспечена не только недостатками выполнения работ и эксплуатацией водосброса с забитыми воздуховодами, но и с существующими вопросами по принятым проектным решениям. Дальнейшее изучение и проведение опытов позволят уточнить предлагаемые методы решения вопроса.

Стоит отметить, что ввиду столь маленького масштаба модели непосредственно моделировать кавитацию и аэрацию невозможно, но есть вероятность получения данных о гидравлических характеристиках потока, на анализе которых станет ясно поведение потока на натурном сооружении. Результаты эксперимента совпадают с ситуаций на натурном объекте: в расчётном

створе, где наблюдается сильное падение избыточного давления воды, на натурном объекте зафиксированы кавитационные каверны в боковых стенках и дне водосброса.

При скоростях потока до 15 м/с такие явления, как кавитация, аэрация и пульсационные нагрузки, не оказывают существенного влияния на нормальную работу сооружения и поэтому при проектировании обычно не учитываются. При скорости потока более 25 м/с, для обеспечения нормальной работы водопропускных сооружений, необходимо принимать особые меры по учёту воздействия кавитации. Проектирование высоконапорных водосбросов без учёта указанных особенностей высокоскоростных потоков может привести к тяжёлым повреждениям и авариям на водосбросных сооружениях [1, 2]. Предполагает-

ся, что интенсивность кавитационной эрозии зависит от скорости в степенной зависимости с показателем степени от 4 до 8,5, и вопрос требует дальнейшего уточнения.

**Объект исследования.** Глубинный водоброс Курпсайской ГЭС (рис. 1) предназначен для пропуска паводков из водохранилища в нижний бьеф при проектном рас-

четном расходе  $Q_n = 1037 \text{ м}^3/\text{спр}$  и НПУ [2-5]. Несмотря на то, что максимальный расход воды, пропускавшийся через водоброс, составил  $Q_n = 600 \text{ м}^3/\text{с}$  (что составляет 58% от проектного расчетного расхода), в отдельных зонах водоброса возникла кавитационная эрозия [4], зоны которой на рисунке 1 заштрихованы (зона разрушения).

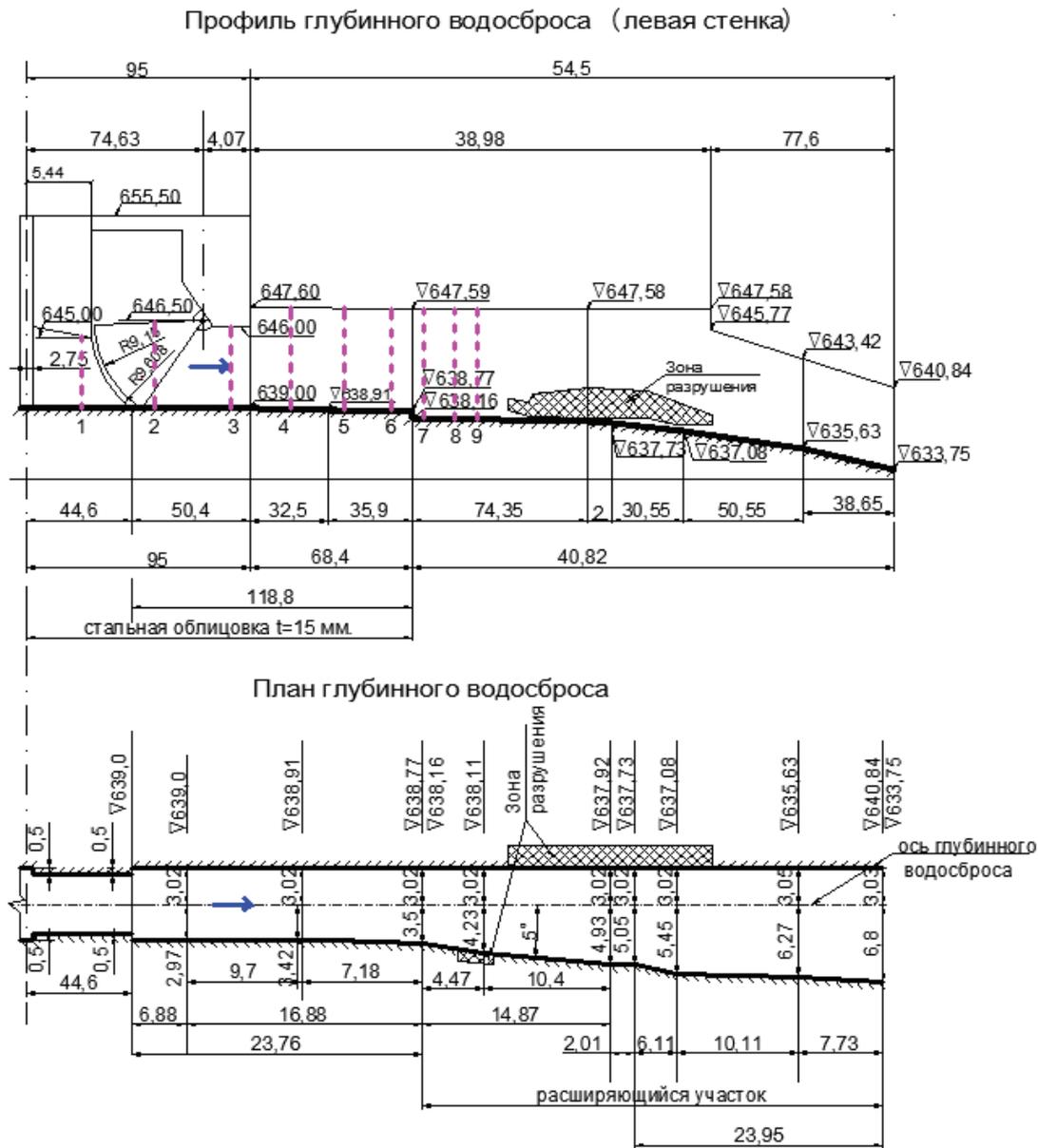


Рис. 1. Затворная камера и диффузорный участок глубинного водоброса

Примечание. Размеры и высотные отметки даны в метрах:

⋮ – створы пьезометров на модели; 1 – номер створа пьезометров;

→ – направление движения воды.

По результатам обследования в 2003-2004 гг. водоброса после пропуска максимально пропускавшегося расхода в  $Q_n = 600 \text{ м}^3/\text{с}$  установлено следующее. Из-за неровностей и выступов бетонной поверхности водоброса возможно появление локальных кавитационных зон, но неоднократ-

ное образование на протяжении многих лет крупных (до 1,5 м в глубину) кавитационных каверн в одних и тех же местах свидетельствует о том, что причина появления кавитационной эрозии носит систематический характер и связана не только с дефектами бетонной поверхности, но и с гидравлическим режимом

работы водосброса. В связи с этим представляет интерес изучение гидравлических особенностей работы глубинного водосброса с точки зрения образования кавитации как при пропуске проектного расчётного расхода, соответствующего НПУ  $Q_H = 1037 \text{ м}^3/\text{с}$ , так и при меньших расходах, вплоть до  $400 \text{ м}^3/\text{с}$  (максимальный расход, при котором явление кавитации не фиксировалось). Гидравлический режим потока и его скоростной режим позволяют, таким образом, косвенно судить о возможностях и причинах появления и развития кавитации в местах выявленных разрушений стенок водосброса, без прямого физического моделирования возникновения кавитации.

**Методика проведения исследований.** Для проведения исследований использовали модель глубинного водосброса в масштабе 1:50, изготовленную из оргстек-

ла. Все детали модели выполнены согласно чертежам, модель собрана на опорной металлической ферме гидравлического стенда выставлена под уровень [3] и оборудована измерительной аппаратурой (пьезометры, трубка Пито, микровертушка для измерения скоростей потока).

Рассмотрим работу водосброса при полностью открытом сегментном затворе и при пропуске проектного расхода  $Q_H^{НПУ} = 1037 \text{ м}^3/\text{с}$ . Для модели он составляет  $Q_M = 0,05866 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Рассмотрим в качестве расчётного створ пьезометров № 7 (рис. 2а), который соответствует расчётному сечению 2-2 для натурного сооружения (рис. 2б).

В работах [5-7] проведен расчет глубинного водосброса с учетом величины открытия сегментного затвора (рис. 2б).

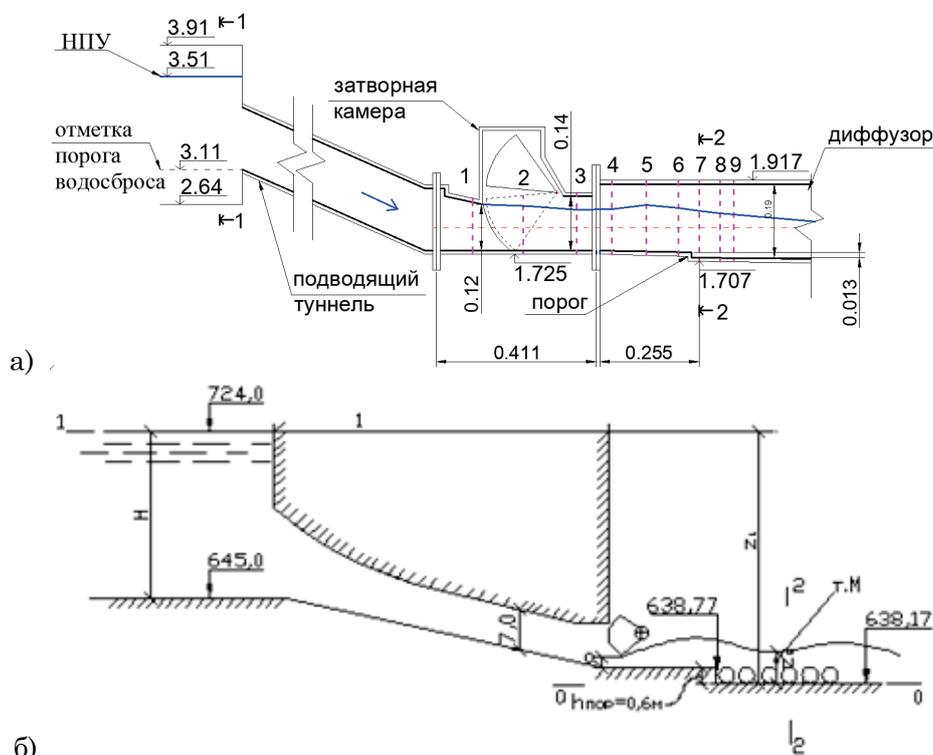


Рис. 2. Расчётная схема модели (а) и натурного сооружения (б):

⋮ – створы пьезометров на модели; 1 – номер створа пьезометров;

→ – направление движения воды.

Кавитация появляется при понижении в воде абсолютного давления  $p_{абс}$  до давления парообразования  $p_{кр}$ , в результате чего растворённые газы формируются в пузырьки, а в дальнейшем происходит схлопывание этих пузырьков при повышении абсолютного давления в воде  $p_{абс}$  до величины, превышающей давление парообразования.

Отсутствие возможности образования кавитации проверяется выполнением следующих условий:

1. Абсолютное давление в точке М  $P_{абс(м)}$  должно быть больше критического давления парообразования  $P_{кр}$ , принимаемого равным давлению насыщенных паров чистой воды, которое зависит только от температуры воды (давлению, соответствующему испарению жидкости при данной температуре [8]), т.е.

$P_{абс(м)} > P_{кр} = P_t$ , Па ( $P_t$  зависит от температуры воды и определяется по справочнику).

2.  $P_{изб} < (P_{атм} - P_{кр}) = (P_{атм} - P_t)$ , Па.

3. Параметр кавитации  $K < K_{кр} = 1$ .

При невыполнении хотя бы одного из трех условий возможно появление кавитации на изучаемом объекте.

Оценку возможности возникновения кавитации проводим общепринятым методом сопоставления фактических значений коэффициентов кавитации вблизи рассматриваемых элементов  $K = \frac{P_{изб} - P_{кр}}{\rho * \frac{v_{хар}^2}{2}}$  с их критическими величинами  $K_{кр}$ . При этом условие возникновения кавитации выражается неравенством  $K < K_{кр}$  [2].

**Результаты исследований.** Проверим возможность появления кавитации и кавитационной эрозии в условиях полного открытия сегментного затвора и при прохождении максимального расчетного расхода  $Q_H^{НПУ} = 1037 \text{ м}^3/\text{с}$  (для модели он составляет  $Q_M = 0,05866 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Расчет ведем для расчетного сечения 2-2 (соответствует створу пьезометров № 7). При этом принимаем, что

$$P_{а.б.с.} = P_{атм.} + \rho gh;$$

$$P_{изб} = \rho gh.$$

$$P_{изб} = \frac{1000 \text{ кг}}{\text{м}^3} * 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} * 0,0417 \text{ м} = 409,08 \text{ Па} -$$

согласно показаниям пьезометра, в створе № 7 в центре расчетного сечения (рис. 2).

$$P_{а.б.с.} = 101325 + 409,08 = 101734,08 \text{ Па.}$$

$$P_{кр} = P_{t=15^\circ\text{C}} = 1710 \text{ Па.}$$

$$P_{абс(м)} = 101734,08 \text{ Па} > P_{кр} = 1710 \text{ Па.}$$

Первое условие отсутствия кавитации выполнено. Проверим второе условие:

$$P_{изб} = 409,08 \text{ Па} < (P_{атм} - P_{кр}) = 99615 \text{ Па.}$$

Второе условие отсутствия кавитации выполнено.

Параметр кавитации:

$$K = \frac{P_{изб} - P_{кр}}{\rho * \frac{v_{хар}^2}{2}},$$

где  $v_{хар}^2 = 3,95 \text{ м}^2/\text{с}^2$  – квадрат скорости, измеренной с помощью микровертушки на модели водосброса, тогда

$$K = \frac{409,08 - 1710}{1000 * \frac{15,6025}{2}} = -0,167 < K_{кр} = 1.$$

По итогам расчёта мы видим, что не все условия отсутствия кавитации были выполнены. Также в расчётном створе наблюдается сильное падение избыточного давления воды (рис. 3), и в водосбросе наблюдаются местные большие неровности (стыки от опалубки при бетонировании, выбоины, каверны и т.д.) – предполагается появления кавитации.

Согласно полученным расчетным данным при уровне воды в ВБ на отметке НПУ = 724 м через глубинный водосброс пойдёт расход  $1037 \text{ м}^3/\text{с}$ , а средние скорости воды в безнапорной части водосброса после затвора достигнут величины  $\approx 30 \text{ м/с}$ .

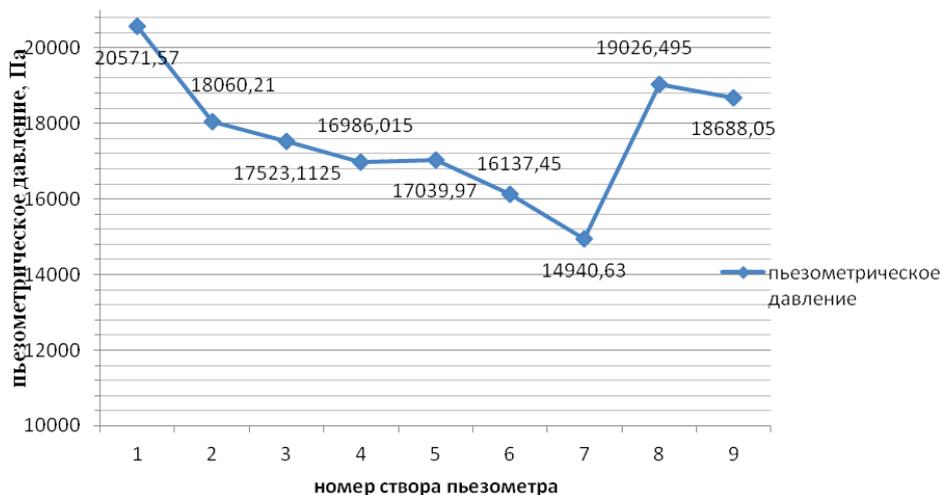


Рис. 3. График изменения давления по оси глубинного водосброса

Как отмечалось выше, при скоростях потока более 25 м/с для обеспечения нормальной работы водопропускного сооружения необходимо принимать особые меры по учету (воздействия кавитации на ста-

дии проектирования) кавитации, так как интенсивность кавитационной эрозии тел, обтекаемых высокоскоростным потоком, пропорционально зависит от скорости потока в 5-7 степени.



Рис. 4. Фотофиксация эксперимента

### Выводы

Вероятность возникновения кавитации в тракте глубинного водосброса обеспечена не только недостатками выполнения работ и эксплуатацией водосброса с забитыми воздуховодами, но и существующими вопросами по принятым проектным решениям. Дальнейшее изучение и проведение опытов позволят уточнить предлагаемые методы решения вопроса.

Стоит отметить, что из-за столь маленького масштаба модели непосредственно моделировать кавитацию и аэрацию нельзя, но можно получить данные о гидравлических характеристиках потока, на анализе которых станет ясно поведение потока на натурном сооружении.

Результаты эксперимента совпадают с ситуаций на натурном объекте: в расчётном створе, где наблюдается сильное падение избыточного давления воды, на натурном объекте зафиксированы кавитационные каверны в боковых стенках и дне водосброса.

### Библиографический список

1. Слисский С.М. Гидравлические расчёты высоконапорных гидротехнических сооружений. М.: Энергоатомиздат, 1986. 304 с.
2. Розанов Н.П. Вопросы проектирования водопропускных сооружений, работающих в условиях вакуума и при больших скоростях потока. М.–Л.: Гос. энергетическое изд-во, 1959. 208 с.
3. Рекомендации по учету кавитации при проектировании водосбросных гидротехнических сооружений. ПЗ8-75/ВНИИГ. Л.: ВНИИГ, 1976. 300 с.
4. Румянцев И.С., Зимнюков В.А., Зборовская М.И. Исследование водосбросных сооружений Курпсайской ГЭС: Отчёт о научно-исследовательской работе. М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2008. 48 с.

5. Румянцев И.С., Зимнюков В.А., Зборовская М.И. Исследование водосбросных сооружений Курпсайской ГЭС: Отчёт о научно-исследовательской работе. М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2012. 129 с.

6. Румянцев И.С., Зимнюков В.А., Зборовская М.И., Кавжарадзе Г.В. Улучшение работы глубинного водосброса Курпсайской ГЭС // Природообустройство. 2012. № 4. С. 33-38.

7. Лавров Н.П., Атаманова О.В. и др. Оценка состояния и разработка программы исследований водосбросных сооружений Токтогульской и Курпсайской ГЭС (итоговый). Кн. 2: Оценка состояния и разработка рекомендаций по реабилитации глубинного водосброса на Курпсайской ГЭС: Отчёт о научно-исследовательской работе. Бишкек, 2005. 44 с.

Материал поступил в редакцию 29.09.2016 г.

### Сведения об авторах

**Зимнюков Владимир Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидротехнические сооружения» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, Большая Академическая ул., д. 44; тел.: 8 (499) 153 96 33; e-mail: moo\_abh@mail.ru

**Зборовская Марина Ильинична**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидротехнические сооружения» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, Большая Академическая ул., д. 44; тел.: 8 (499) 153 96 33; e-mail: moo\_abh@mail.ru

**Зайцев Антон Иванович**, аспирант кафедры «Гидротехнические сооружения» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, Большая Академическая ул., д. 44; тел.: 8 (499) 153 96 33; e-mail: moo\_abh@mail.ru

V.A. ZIMNYUKOV, M.I. ZBOROVSKAYA, A.I. ZAITSEV

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

## INVESTIGATION OF THE SPILLWAY CULVERT OPERATION WITH A SEGMENT GATE

*There is considered the operation of a high-pressure spillway culvert with a segment gate, available threshold and asymmetric diffuser outlet part at passing the maximum rated flow with determination of the possibility of cavitation origin. As an example there is analyzed a flood flow through the hydraulic unit. There are revealed the causes of cavitation origin in the spillway diversion channel with the determination of a high-speed mode and studying of piezometric pressures in the rated section lines on the basis of the data obtained at the spillway model operation of scale 1:50 M. The analysis of the obtained data shows that under the given operating conditions the cavitation will occur in the presence of any potential stimulating agent in the spillway non-pressure part at a rate of the discharged flow exceeding 400 m<sup>3</sup>/s. For eliminating the possibility of cavitation formation and ensuring an accident-free operation of the spillway it is necessary to change the outlet design (to smooth out turns, expansion of the diffuser part should be made smoother, to replace the materials by more cavitation resistant ones, to reduce roughness of the concrete surface by polishing/grinding) or change the characteristics of the water flow (to increase the degree of flow aeration, reduce the flow velocity). It is also recommended to reduce the flow water with an increase of the term of flood discharge and significant pre-flood emptying of the reservoir in high-water years.*

*Kurpsai hydraulic unit, spillway culvert, cavitation, modeling research, model of the spillway culvert, hydraulic investigations, flow velocity.*

### References

1. Slissky S.M. *Hydravlicheskie raschety vysokonapornyh hidrotehnicheskikh sooruzhenij*. M.: Energoatomizdat, 1986. 304 s.

2. Rozanov N.P. *Voprosy proektirovaniya vodopropusknyh sooruzhenij, rabotayushchih v usloviyah vakuuma i pri boljshih skorostyah potoka*. M. – L.: Gos. Energeticheskoe isdvo, 1959. 208 s.

3. *Recomendatsii po uchetu kavitatsii pri proektirovanii vodosbrosnyh hidrotehnicheskikh sooruzhenij*. P38-75/VNIIG. L.: VNIIG, 1976. 300 s.

4. Rummyantsev I.S., Zimnyukov V.A., Zborovskaya M.I. *Issledovanie vodosbrosnyh sooruzhenij Kurpsaiskoj GES: Otchet o nauchno-issledovateljskoj rabote*. M.: FGOU VPO MGUP, 2008. 48 s.

5. Rummyantsev I.S., Zimnyukov V.A., Zborovskaya M.I. *Issledovanie vodosbrosnyh sooruzhenij Kurpsaiskoj GES: Otchet o nauchno-issledovateljskoj rabote*. M.: FGOU VPO MGUP, 2012. 129 s.

6. Rummyantsev I.S., Zimnyukov V.A., Zborovskaya M.I. *Kavzharadze G.V. Uluchshenie raboty glubinnogo vodosbrosa Kurpsaiskoj GES // Prirodoobustrojstvo*. 2012. № 4. S. 33-38.

7. Lavrov N.P., Atamanova O.V. *And others. Otsenka sostoyaniya i razrabotka programmy issledovaniy vodosbrosnyh sooru-*

*zhenij Toktoguljskoj i Kurpsaiskoj GES (itogovoj)*. Kn. 2: Otsenka sostoyaniya i razrabotka rekomendatsij po reabilitatsii glubinnogo vodosbrosa na Kurpsaiskoj GES: Otchet o nauchno-issledovateljskoj rabote. Bishkek, 2005. 44 s.

The material was received at the editorial office  
29.09.2016

### Information about the authors

**Zimnyukov Vladimir Anatoljevich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Hydraulic engineering structures» FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, Boljshaya Academicheskaya ul., d. 44; tel.: 8 (499) 153 96 33; e-mail: moo\_abh@mail.ru

**Zborovskaya Marina Iljinichna**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Hydraulic engineering structures» FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, Boljshaya Academicheskaya ul., d. 44; tel.: 8 (499) 153 96 33; e-mail: moo\_abh@mail.ru

**Zaitsev Anton Ivanovich**, post graduate student of the chair «Hydraulic engineering structures» FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, Boljshaya Academicheskaya ul., d. 44; tel.: 8 (499) 153 96 33; e-mail: moo\_abh@mail.ru

УДК 502/504:631.61

**В.В. ШАБАНОВ, В.Н. МАРКИН**

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

### **РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПО НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНОГО МЕЛИОРАТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

*Рассмотрены вопросы районирования территорий сельскохозяйственного назначения по степени необходимости видов мелиоративного регулирования факторов жизни растений. Внимание уделено водному, тепловому и питательному режимам почв. Водный фактор рассматривается как основной по технической возможности оперативного регулирования с помощью осушительных и оросительных систем; тепловой фактор – как ограничивающий возможность выращивания растений, так как в пределах поля практически не поддается регулированию (фактор, ограничивающий развитие конкретного направления растениеводства). Пищевой режим почв регулируется посредством внесения удобрений в сухом виде или с поливной водой. Предлагаемый подход позволяет оценить необходимость конкретного вида мелиорации или их комплекса. В основу метода положено сопоставление требований растений к факторам внешней среды с их пространственно-временными характеристиками. Приведен пример районирования водных, тепловых и пищевых мелиораций в тундровой и таежной зонах России. Выбор географических зон, в которые были включены «неземледельческие» районы (тундра и отчасти северо-таежная), сделан для того, чтобы показать, как могут «передвинуться» показатели необходимости мелиорации при изменении климата. Использование влагозапасов в качестве параметров, отражающих условия внешней среды на таких элементах ландшафта, как местности, урочища и фации, позволяет проводить обоснование мелиорации на мезо- и микроклиматическом уровнях.*

*Комплексные мелиорации, обоснование мелиоративного воздействия, районирование территории, требования растений, факторы внешней среды растений, водный режим почв, температурный режим, пищевой режим почв.*

**Введение.** Развитие мелиорации в нашей стране за последние годы существенно изменилось. Этап «широкого развития мелиорации», провозглашенный 50 лет назад, по тем или иным причинам завершился. Наступил этап дифференцированного подхода к развитию мелиорации. Это усугубилось еще и тем, что сменилась форма собственности на землю. Для частного собственника, по крайней мере на начальной стадии накопления капитала, большие мелиорируемые участки с однообразным регулирующим воздействием неактуальны, так как не дают возможность максимизировать прибыль без потери качества земель.

Наступила пора дифференцированного управления основными факторами внешней среды на мелиорируемых землях.

Следует отметить, что такие работы были начаты Минводхозом СССР много лет назад. Первая Государственная программа ГКНТ появилась и успешно выполнялась еще в 70-е гг. прошлого века.

В основе дифференцированного управления всегда лежали количественные методы обоснования необходимости и эффективности мелиорации [1]. Одним из эффективных методов визуализации результатов математического моделирования процессов обоснования необходимости мелиорации является районирование. В зависимости от поставленных задач и этапа разработки программы комплексного мелиоративного регулирования можно различать макро-, мезо- и микрозональное районирование.

Макрозональное районирование, методика которого приведена в статье, позволяет повысить эффективность мелиорации путем районирования территорий по требующимся видам мелиорации для выращивания конкретных культур.

Мелиорация земель включает в себя множество видов: водные, тепловые, пищевые, солевые и др., причем одни можно отнести к мероприятиям, подготавливающим земли для выращивания растений (например, культуртехнические мероприятия, лесотехнические), а другие – к создающим благоприятные условия для формирования высоких гарантированных урожаев (например, водные, пищевые и тепловые).

Территория России расположена в разных природных зонах, существенно отличающихся водно-термическими условиями, продуктивностью земель и другими факторами. Поэтому территория может быть разделена на природно-мелиоративные зоны и подзоны, в пределах которых ведение сельскохозяйственного производства становится более эффективным при выполнении того или иного вида или сочетания видов мелиораций. Например, для зоны тундры и лесотундры мелиоративный комплекс включает в себя тепловые мелиорации; выборочное осушение пойм, агротехнические мероприятия (внесение значительных доз удобрений).

В условиях таежной зоны требуются осушительные, культуртехнические, почвенно-агротехнические (известкование почв, внесение минеральных и органических удобрений) и фитомелиоративные мероприятия.

Для зоны смешанных лесов основными видами мелиорациями являются осушение (ускорение отвода поверхностных вод и понижение уровня грунтовых вод), тепловые (борьба с заморозками и высокими температурами), культуртехнические и химические (известкование, управление пищевым режимом почв) агро- и лесомелиорации.

**Метод исследований.** Мелиоративное районирование территории проводится с учетом факторов внешней среды выращивания растений, основными из которых являются:

– водный (так как он, с одной стороны, отвечает за формирование водно-воздушного режима почв и тем самым определяет условия роста растений; с другой стороны, имеются средства оперативного

управления данным фактором посредством осушительных и оросительных систем), характеризующийся почвенными влагозапасами;

– температурный (определяющий рост и развитие растений), характеризующийся температурами почвы и приземного слоя воздуха;

– пищевой, характеризующийся содержанием в почве доступных растениям форм питательных веществ.

Примечательно, что распределение вероятности показателей гидротермического режима (например, почвенные влагозапасы, температуры почвы) хорошо описывается нормальным законом распределения.

Методика обоснования комплексных мелиораций должна отвечать следующим требованиям:

- учет природно-климатических особенностей зоны;
- учет биологических особенностей сельскохозяйственных культур.

Этим требованиям отвечает «Биоклиматический метод обоснования мелиорации» [2]. В основу метода положено сопоставление требований растений к факторам внешней среды с их пространственно-временными характеристиками. Последние полностью учитываются функциями распределения. Это позволяет определить вероятность оптимальных условий ( $P_{\text{opt}}$ ), а также вероятности необходимости проведения мероприятий, направленных на повышение значения фактора ( $P\uparrow$ ) или его понижение ( $P\downarrow$ ).

### Требования растений к факторам внешней среды

Под требованиями растений к факторам внешней среды понимается количественное выражение зависимости их продуктивности от значений рассматриваемого фактора (Шабанов, 1982):

$$S_{\varphi} = \left( \frac{\varphi}{\varphi_{\text{opt}}} \right)^{\gamma \cdot \varphi_{\text{opt}}} \times \left( \frac{1-\varphi}{1-\varphi_{\text{opt}}} \right)^{\gamma \cdot (1-\varphi_{\text{opt}})}, \quad (1)$$

где  $S_{\varphi}$  – относительная урожайность (продуктивность) сельскохозяйственных растений, представляющая собой отношение фактической урожайности к максимально возможной в конкретных условиях;  $\varphi$  – относительное значение фактора;  $\varphi_{\text{opt}}$  – оптимальное относительное значение фактора;  $\gamma$  – коэффициент, характеризующий степень саморегулирования растений в различные декады.

Требования растений используются для определения нижнего ( $\varphi_1$ ) и верхнего ( $\varphi_2$ ) оптимального предела изменения рассматриваемого фактора, соответствующих заданному (планируемому) уровню продуктивности (рис. 1):  $S_{\text{план}} = 0,8$ .

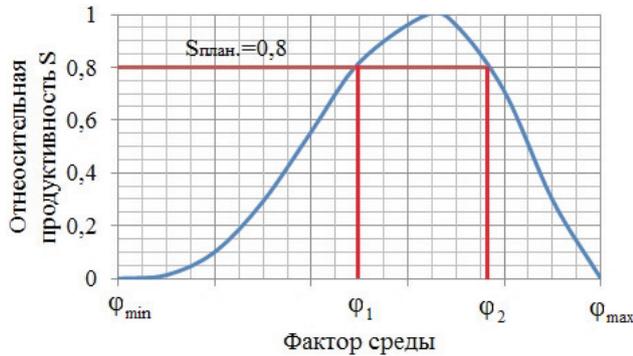


Рис. 1. Вид кривой требований растений к фактору среды

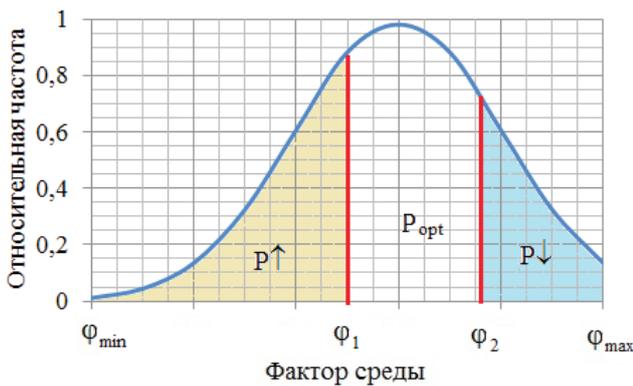


Рис. 2. Плотность распределения фактора среды

### Характеристика условий среды.

Пространственно-временная характеристика внешней среды произрастания растений по рассматриваемому фактору описывается его функцией распределения ( $\rho_\varphi$ ). В случае нормального закона распределения функция определяется средним значением фактора ( $\varphi_{\text{ср}}$ ) и его среднеквадратическим отклонением ( $\sigma$ ):

$$f(\varphi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\varphi - \bar{\varphi})^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Нижнее и верхнее значения оптимального предела изменения фактора позволяют выделить под кривой распределения области, соответствующие вероятности: необходимости повышения значения фактора  $P^\uparrow$  (например, в случае водных мелиораций это вероятность необходимости орошения), оптимальных условий  $P_{\text{opt}}$  и не-

обходимости понижения значения фактора  $P^\downarrow$  (например, вероятность необходимости осушения).

Значения вероятностей рассчитываются по формулам (для нормального закона распределения фактора):

$$P_{\downarrow\varphi} = 1 - \Phi^* \left( \frac{\varphi_1 - \bar{\varphi}}{\sigma_\varphi} \right)$$

$$P_{\uparrow\varphi} = \Phi^* \left( \frac{\varphi_2 - \bar{\varphi}}{\sigma_\varphi} \right) \quad (3)$$

$$P_{\text{opt}} = \Phi^* \left( \frac{\varphi_2 - \bar{\varphi}}{\sigma_\varphi} \right) - \Phi^* \left( \frac{\varphi_1 - \bar{\varphi}}{\sigma_\varphi} \right),$$

где  $\Phi^*(z)$  – интегральная функция распределения Лапласа:

В случае обоснования необходимости различных видов мелиоративного регулирования условий среды обоснование проводится для каждого вида отдельно.

Используя данный подход, для различных природных зон провели расчеты необходимости мелиоративного воздействия по регулированию: почвенных влагозапасов; температуры; содержания доступных растениям форм калия и фосфора в почве (табл. 1).

**Результаты исследований.** По результатам расчетов можно сделать следующее заключение.

1. Для рассматриваемых зон вероятность орошения невелика (до 15%, что соответствует средней степени необходимости). Снижение урожайности при отсутствии орошения не превышает 10%.

2. Отмечается достаточно высокая потребность в осушении (следует отметить, что в расчетах учитывались водно-физические характеристики зональных почв, поэтому речь идет о вероятности необходимости осушения временно избыточно переувлажненных минеральных почв). Влияние на урожайность соответствует 30...50%.

3. В отношении тепловых мелиораций получены высокие вероятности необходимости повышения температур, что связано с их достаточно низкими значениями. Влияние на снижение урожайности достигает 40...77%, что объясняет лимитирующее значение температурного фактора (табл. 2).

## Вероятности необходимости водных и тепловых мелиораций

Зона	Культура	Вероятности, %							
		водные мелиорации				тепловые мелиорации			
		P <sub>opt</sub>	P↑	P↓	P <sub>м</sub>	P <sub>opt</sub>	P↑	P↓	P <sub>м</sub>
Тундра	1	12	7	81	88	6	94	0	94
	2	19	10	71	81	15	85	0	85
	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Северо-таежная	1	12	4	84	88	8	92	0	92
	2	16	17	67	84	23	77	0	77
	3	13	1	86	87	-	-	-	-
Средне-таежная	1	14	13	73	86	6	92	2	94
	2	18	15	67	82	17	83	0	83
	3	16	13	71	84	-	-	-	-
Южно-таежная	1	18	9	73	82	13	86	1	87
	2	28	5	67	72	34	66	0	66
	3	33	17	50	67	-	-	-	-

Примечание. 1 – озимые зерновые; 2 – яровые зерновые; 3 – картофель.

Таблица 2

Снижение урожайности культур ( $\Delta S$ ) в зависимости от водного и теплового факторов\*

Зона	Культура	Фактор		
		водный		температурный
		$\Delta S_{w\uparrow}$	$\Delta S_{w\downarrow}$	
Тундра	1	0,04	0,57	0,75
	2	0,06	0,50	0,68
Северо-таежная	1	0,02	0,59	0,74
	2	0,10	0,47	0,62
Средне-таежная	1	0,08	0,51	0,75
	2	0,09	0,47	0,66
Южно-таежная	1	0,05	0,51	0,70
	2	0,03	0,47	0,53

\*Лимитирование определяется фактором с большим значением  $\Delta S$ .

Потребность в пищевых мелиорациях определена иначе, чем для водных и тепло-

вых. Связано это с большим разнообразием почв, обладающих разным плодородием и механическим составом. Поэтому расчеты проведены для разной степени обеспеченности доступными формами  $P_2O_5$  и  $K_2O$  [3].

В зависимости от разной обеспеченности почв фосфором и калием вероятности необходимости повышения их содержания изменяются примерно в 10 раз. Необходимость пищевых мелиораций достаточно высока, так как природное плодородие почв в рассмотренных зонах является низким (табл. 3, 4).

Оценка эффективности пищевых мелиораций проведена на основе (табл. 5, 6) определения прибавки урожайности от регулирования содержания фосфора и калия в почвах. Продуктивность растений оценивалась по закону Либиха:

$$S_{wTG} = \min \{S_w, S_T, S_G\} \quad (4)$$

Таблица 3

Вероятности необходимости регулирования содержания  $P_2O_5$  и  $K_2O$  в подзолистых почвах и сероземах Нечерноземной зоны в зависимости от их обеспеченности питательными веществами, %

Обеспеченность питательными веществами	$P_2O_5$		$K_2O$	
	P <sub>opt</sub>	P <sub>м</sub>	P <sub>opt</sub>	P <sub>м</sub>
Очень низкая	0	100	0	100
Низкая	0	100	0	100
Средняя	18	82	14	86
Повышенная	46	54	54	46
Высокая	79	21	79	21
Очень высокая	90	10	85	15

Таблица 4  
Вероятности необходимости  
пищевых мелиораций почв  
Нечерноземной зоны, %

Зона	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
	P <sub>opt</sub>	P <sub>m</sub>	P <sub>opt</sub>	P <sub>m</sub>
Тундра	0	100	0	100
Северо-таежная	0	100	0	100
Средне-таежная	18	82	16	84
Южно-таежная	46	54	50	50

Таблица 5  
Относительные продуктивности  
зерновых культур в таежной зоне  
без учета мелиоративного воздействия

Таежные подзоны	Озимые зерновые			Яровые
	S <sub>w</sub>	Sp <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SK <sub>2</sub> O	S <sub>w</sub>
Северная	0,26	0,25	0,15	0,40
Средняя	0,38	0,30	0,18	0,50
Южная	0,87	0,45	0,25	0,92

Продуктивность растений с учетом мелиоративного регулирования принималась на уровне S<sub>план.</sub> = 0,8. Эффективность мелиоративного регулирования определялась по формуле:

$$\Delta S = S_{\text{план}} - S_{\text{wTG}} \quad (5)$$

Таблица 6  
Эффективность  
мелиоративного регулирования  
факторов жизни растений

Таежные зоны	Зерновые	Картофель
Северная	0,78	0,65
Средняя	0,80	0,70
Южная	0,63	0,55

### Выводы

1. Несмотря на всю относительность приведенных расчетов, показано, что данная методология работает и может исполь-

зоваться для обоснования мелиорации в макроклиматических зонах.

2. Широкий подбор географических зон, в которые были включены «неземледельческие» зоны (тундра и отчасти северо-таежная), был сделан для того, чтобы показать, как могут «передвинуться» показатели необходимости мелиорации при изменении климата.

3. В случае использования влагопасов в качестве параметров, отражающих условия внешней среды на более детальных элементах ландшафта (местности, урочища, фации), обоснование мелиорации можно проводить на мезо- и микроклиматическом уровнях.

### Библиографический список

1. Шабанов В.В. Биоклиматическое обоснование мелиораций: Монография. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 165 с.
2. Шабанов В.В. Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет: Монография. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 140 с.
3. Степенев И.Н., Лучицкая О.А. Модель плодородия почв СССР // Доклады ВАСХ-НИИ. 1985. № 8. С. 10-12.

Материал поступил в редакцию 30.05.2016 г.

### Сведения об авторах

**Шабанов Виталий Владимирович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Мелиорация и рекультивация земель»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44; e-mail: 515vvsh@gmail.com.

**Маркин Вячеслав Николаевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры «Комплексное использование водных ресурсов и гидравлики»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19; e-mail: mvnarkin@mail.ru.

V.V. SHABANOV, V.N. MARKIN

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

## RANGING OF TERRITORIES FOR JUSTIFICATION OF COMPLEX MELIORATIVE REGULATION

*There are considered problems of agricultural territories ranging according to the requirement of different types of lands reclamation of plants life factors. What a type of reclamation or their complex is required for specific natural zone. The attention is paid to water, thermal and nutritious factors of soils. The water factor is considered as the main on the technical capability to regulate by means of drainage and irrigation systems. The thermal*

factor – as a factor limiting the possibility to cultivate agricultural plants because within a field this factor practically cannot be regulated (the factor limiting the development of a particular direction of plant growing). The nutritious factor of soils can be regulated by means of fertilizing in a dry form or with irrigation water. The offered method allows estimating the necessity of a concrete type of melioration or their complex. The basis of the method is a comparison of plants requirements to environmental factors with their spatial-temporal characteristics. The example of division into districts of water, thermal and nutritious reclamations in tundra and taiga zones of Russia is given. The choice of geographical zones comprising «non-agricultural» areas (tundra and a part of northern taiga) was made in order to show how indicators of the necessary reclamation can «shift» under climatic changes. Usage of water supplies as parameters reflecting the environmental conditions on such elements of landscape as territories, holes and facies allows conducting substantiation on meso- and microclimatic levels.

*Complex meliorations, justification of melioration influence, division into districts of the territory, requirements of plants, factors of plants environment, water factor of soils, temperature condition, nutrient factor of soils.*

### References

1. Shabanov V.V. Bioclimaticheskoe obosnovanie melioratsij: monograph. L.: Gidrometeoizdat, 1973. 165 s.
2. Shabanov V.V. Vлагообеспеченность яровых пшениц и ее расчет: Monograph. L.: Gidrometeoizdat, 1982. 140 s.
3. Stepanov I.N., Luchitskaya O.A. Model plodorodiya pochv SSSR // Doklady VASHNIL. 1985. № 8. S. 10-12.

The material was received at the editorial office  
30.05.2016

### Information about the authors

**Shabanov Vitalij Vladimirovich**, doctor of technical sciences, professor of the chair «Lands reclamation and recultivation»; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Timiryazev State Agrarian University»; 127550, Moscow, ul. Bolshaya Akademicheskaya, 44; e-mail: 515vvsh@gmail.com.

**Markin Vyacheslav Nikolaevich**, candidate of technical sciences, professor of the chair «Complex use of water resources and hydraulics»; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Timiryazev State Agrarian University»; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, d. 19; e-mail: mvnarkin@mail.ru.

УДК 502/504:631.423.2 (470.311)

### А.А. ПОДДУБСКИЙ, А.В. ШУРАВИЛИН

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Российская Федерация

### Н.В. СУРИКОВА

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

## ВЛИЯНИЕ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Приведены результаты исследований по оценке природной тепло-влажностности, дефицитов водопотребления и их связи с урожайностью основных сельскохозяйственных культур (зерновые, картофель и овощные культуры). Выполнен расчет показателей тепловлажностности по метеостанциям «Можайск», «ВДНХ», «Коломна», расположенных соответственно в западной, центральной и юго-восточной частях Московской области, с использованием методик Н.Н. Иванова, Г.Т. Селянинова, М.И. Будыко, Д.И. Шашко. Обеспеченность показателей природного увлажнения определялась за период с 1966 по 2012 гг. Оценка увлажнения проведена для островлажных, влажных, средневлажных, средних, среднесухих и острозасушливых лет. Годовой дефицит природного увлажнения наступает, соответственно, при обеспеченности 85%; 80% и 70%, а за теплый и вегетационный периоды – 55%; 40% и 30%. Получена максимальная урожайность зерновых культур при коэффициенте

увлажнения по Н.Н. Иванову: 1,24 за год и 0,87 за теплый период, при гидротермическом коэффициенте (ГТК) за теплый период 1,3, коэффициенте атмосферного увлажнения 0,5, при годовом индексе сухости 0,73. Максимальные урожаи картофеля получены при коэффициенте увлажнения 1,0 за год и 0,9 – за теплый период, при ГТК за теплый период 1,56, индексе сухости за год 0,89 и коэффициенте атмосферного увлажнения за год 0,47. Максимальные урожаи свеклы столовой получены при коэффициентах увлажнения 1,52 за год, 1,2 – за теплый период и годовом коэффициенте атмосферного увлажнения 0,59; а для 25% обеспеченности по гидротермическому коэффициенту (ГТК) – 1,28 годовом, индексе сухости – 0,73. Результаты расчетов указывают на необходимость в Московской области двухстороннего регулирования водного режима почв.

*Московская область, тепло- и влагообеспеченность, дефициты увлажнения, урожайности сельскохозяйственных культур.*

**Введение.** Оценка природной влагообеспеченности Московской области разными авторами показывает, что обычно в весенний и осенний периоды отмечается избыточное увлажнение почв, а в летние месяцы систематически наблюдается недостаток влаги в почве [1, 2, 3, 4, 8]. В то же время для условий Московской области еще недостаточно полно дана оценка природных условий для прогноза потребности в мелиорациях [5, 6, 7].

**Материалы и методы исследования.** Нами проведен расчет показателей тепловлагообеспеченности по методикам Н.Н. Иванова, Г.Т. Селянинова, М.И. Будыко, Д.И. Шашко по материалам длительных (47 лет, 1966-2012 гг.) наблюдений метеостанций «Можайск», ВДНХ, «Коломна», соответственно для западной, центральной и юго-восточной частей Московской области.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты исследований показали, что коэффициент увлажнения по Н.Н. Иванову для западной части Московской области (метеостанция Можайск) изменяется в пределах от 2,62 до 0,79, а для вегетационного периода (май-август) – от 1,94 до 0,30. Для центральной части области по метеостанции «ВДНХ» эти показатели соответственно изменялись от 1,99 до 0,65 и от 1,64 до 0,24, а для юго-восточной части (метеостанция Коломна) – от 1,73 до 0,57 и от 1,65 до 0,21. Для этих зон нормальное увлажнение было достигнуто при коэффициентах увлажнения 0,9-1,0, которые соответствуют 90% обеспеченности для метеостанций «Можайск», «ВДНХ» и 75% обеспеченности для метеостанции «Коломна» за год, а за вегетационный период – соответственно при обеспеченности 50% и 25-50%.

По методике Г.Т. Селянинова для метеостанций «Можайск», «ВДНХ» и «Колом-

на» гидротермический коэффициент (ГТК) за теплый период соответственно изменялся в пределах 2,44-0,76; 2,79-0,74 и 2,07-0,65, а для вегетационного периода – в пределах 2,61-0,53; 2,79-0,60 и 2,21-0,40. При этом нормальное увлажнение (при ГТК 1,1-1,3) было достигнуто при обеспеченности 75, 90 и 50% за теплый период, а за вегетационный период – при обеспеченности 75% для всех метеостанций. Для среднесезонных условий (50% обеспеченности) годовой показатель увлажнения составил 1,38; 1,24 и 1,17 соответственно для метеостанций «Можайск», «ВДНХ», «Коломна», а для вегетационного периода – 1,02; 0,86; 0,82. По Г.Т. Селянину за теплый период гидротермический коэффициент соответственно был равен 1,60; 1,49 и 1,33. Приведенные данные свидетельствуют об увеличении показателя увлажнения с юго-востока на запад области.

Определение показателя тепловлагообеспеченности по М.И. Будыко свидетельствует о том, что индекс сухости за год больше единицы получен для среднесухих и сухих лет (75-95% обеспеченности) и колебался в пределах 1,02-1,30. Коэффициент атмосферного увлажнения по Д.И. Шашко за год изменялся от 0,92 до 0,30. Избыточное увлажнение зафиксировано в годы с обеспеченностью 50%, умеренное – при 75%, а нормальное – при 90%. Показатели коэффициента атмосферного увлажнения за вегетационный период заметно отличались от годовых.

Анализ данных по метеостанции ВДНХ показал, что дефицит природного увлажнения за год отмечался лишь в сухие и острозасушливые годы (108,9-256 мм), а за теплый и вегетационный периоды он наблюдался в годы с обеспеченностью до 50%. В интервале обеспеченности 25-50% создается наиболее оптимальный водный

режим. По метеостанции «Можайск» дефицит естественного увлажнения отмечался лишь в сухие и острозасушливые годы (75-141,9 мм). Недостаток влагообеспеченности в теплом и вегетационном периодах был в среднесухие годы 92,6-96,1 мм, а для сухих и острозасушливых достигал 198,4-374,2 мм. По метеостанции «Коломна» дефицит влаги был зафиксирован при обеспеченности 75% и более и за год варьировал в пределах от 13 до 265 мм. За теплый и вегетационные периоды он отмечен в средние и сухие годы (59,2-360,8 мм).

Сравнительный анализ данных показал увеличение дефицита естественного увлажнения с запада на юго-восток области в 1,3-1,9 раза. Если, по данным метеостанции «Можайск», он составлял 141,9 мм, то по метеостанции ВДНХ – 256 мм, по метеостанции «Коломна» – 265 мм, а за вегетационный период он составлял соответственно 311; 346,3 и 345,6 мм.

При показателях, обеспечивающих нормальное увлажнение, были определены оросительные нормы за вегетационный период (май-август) (табл. 1). Для метеостанции «Можайск» потребность в орошении установлена при обеспеченности 75% и более (от 481 до 2337 м<sup>3</sup>/га). По метеостанции

«ВДНХ» при изменении обеспеченности от 50 до 98,5% оросительная норма увеличилась от 120 до 2986 м<sup>3</sup>/га, а по метеостанции «Коломна» – от 324 до 2898 м<sup>3</sup>/га. Для среднесухих вегетационных периодов (75% обеспеченности) оросительные нормы составляли 481 м<sup>3</sup>/га для метеостанции «Можайск», 1008 м<sup>3</sup>/га для метеостанции «ВДНХ» и 1235 м<sup>3</sup>/га для метеостанции «Коломна», т.е. повышались с запада на юго-восток в 2,6 раза. По методу Г.Т. Селянинова оросительная норма значительно меньше, чем по методу Н.Н. Иванова. По метеостанции «Можайск» она была установлена только для обеспеченности 95% и более (730-912 м<sup>3</sup>/га). По метеостанции «ВДНХ» потребность в орошении возникает при обеспеченности 75% и больше (176-1448 м<sup>3</sup>/га), а по метеостанции «Коломна» – 378-1675 м<sup>3</sup>/га. По метеостанции «ВДНХ» оросительная норма была определена по М.И. Будыко и Д.И. Шашко. Повышенные значения оросительных норм были получены по индексу сухости и составляли от 2130 до 4290 м<sup>3</sup>/га при обеспеченности 95%. По показателю атмосферного увлажнения оросительные нормы были значительно ниже, чем по индексу сухости, и составляли 108 и 321 м<sup>3</sup>/га соответственно при обеспеченностях 50 и 95%.

Таблица 1

**Расчетные оросительные нормы за вегетационный период при показателях, обеспечивающих нормальное увлажнение, м<sup>3</sup>/га**

Метод определения	Показатель увлажнения	Значение при нормальном увлажнении	Обеспеченность, %			
			50	75	95	98,5
Метеостанция «ВДНХ»						
По Н.Н. Иванову	Коэффициент увлажнения	0,9	120	1008	2953	2986
По Г.Т. Селянинову	ГТК	1,2	-	176	1127	1448
По М.И. Будыко	Индекс сухости	1,0	2130	2660	4290	-
По Д.И. Шашко	Показатель атмосферного увлажнения	0,4	108	1322	3021	3209
Метеостанция «Можайск»						
По Н.Н. Иванову	Коэффициент увлажнения	0,9	-	481	1658	2337
По Г.Т. Селянинову	ГТК	1,2	-	-	730	912
Метеостанция «Коломна»						
По Н.Н. Иванову	Коэффициент увлажнения	0,9	324	1235	2527	2898
По Г.Т. Селянинову	ГТК	1,2	-	378	1008	1675

По методу Н.Н. Иванова оросительные нормы при 50% обеспеченности составляли 2953; 1658 и 2527 м<sup>3</sup>/га соответственно по метеостанциям «ВДНХ», «Можайск», «Колом-

на». Годовой дефицит водопотребления был установлен только при обеспеченности 95% и больше. При обеспеченности 95% он составлял 134, 407 и 1390 м<sup>3</sup>/га соответственно

для метеостанций «Можайск», «ВДНХ», «Коломна», т.е. отмечалось существенное увеличение дефицита влаги с запада на юго-восток области.

За вегетационный период дефицит водопотребления по метеостанции «Можайск» был установлен для лет 75% обеспеченности и более, а по метеостанциям «ВДНХ», «Коломна» – 50% и более. При обеспеченности 75% оросительная норма за вегетационный период составила 481, 1008 и 1235 м<sup>3</sup>/га соответственно для метеостанций «Можайск», «ВДНХ», «Коломна», т.е. увеличивалась с запада на юго-восток в 2,6 раза. Аналогичная тенденция просматривалась и при более высокой обеспеченности.

По методике Г.Т. Селянинова дефицит водопотребления за теплый период по метеостанции «Можайск» отмечался только в острозасушливые годы (780 м<sup>3</sup>/га), а по метеостанции «ВДНХ» и «Коломна» – при обеспеченности 95% и более.

При всех обеспеченностях наиболее высокие дефициты водопотребления отмечались для юго-восточной части области. Для вегетационного периода отмечалась потребность в орошении только при 95% обеспеченности по метеостанции «Можайск» и при 75% обеспеченности по метеостанциям «ВДНХ» и «Коломна». Также отмечается повышение оросительной нормы с запада на юго-восток области. Для центральной части области (метеостанция «ВДНХ») по методике М.И. Будыко годовой дефицит водопотребления отмечался только при обеспеченностях 75% (136 м<sup>3</sup>/га) и более. Для вегетационного периода получены весьма высокие значения оросительных норм. По методике

Д.И. Шашко расчетный дефицит водообеспеченности был установлен только при обеспеченности 95% и более. За вегетационный период оросительная норма изменялась от 108 м<sup>3</sup>/га при обеспеченности 50% до 3420 м<sup>3</sup>/га для острозасушливых лет. Следует отметить, что по методу Г.Т. Селянинова оросительные нормы и дефицит водопотребления были в 2-3 раза меньше, чем по методу Н.Н. Иванова.

В природных условиях Московской области урожайность сельскохозяйственных культур существенно изменяется в зависимости от тепло-влагообеспеченности (табл. 2). Для зерновых культур наиболее высокая урожайность получена при коэффициенте увлажнения (по Н.Н. Иванову) 1,24 за год и 0,87 за теплый период, по Г.Т. Селянинову при ГТК – 1,31, что соответствует 50% обеспеченности. Также высокая урожайность была при коэффициенте атмосферного увлажнения 0,5, что соответствует 75% обеспеченности и при годовом индексе сухости 0,73, который соответствует 25% обеспеченности. Наиболее высокие урожаи картофеля получены при 50% обеспеченности и коэффициенте увлажнения 1,0 за год и 0,9 за теплый период (по Н.Н. Иванову), при ГТК за теплый период 1,56, индексе сухости за год 0,89 и коэффициенте атмосферного увлажнения за год 0,47. Максимальные урожаи овощных культур были получены при 50% обеспеченности и коэффициентах увлажнения 1,52 за год, 1,2 за теплый период (по Н.Н. Иванову), годовом коэффициенте атмосферного увлажнения 0,59; а при 25% обеспеченности – при ГТК 1,28 и при годовом индексе сухости 0,73.

Таблица 2

**Урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от показателя увлажнения и его обеспеченности**

Расчетная зависимость	Период определения	Показатели	Обеспеченность коэффициента увлажнения				
			5%	25%	50%	75%	95%
Зерновые культуры							
По Н.Н. Иванову	за год	коэффициент увлажнения	1,78	1,51	1,24	1,04	0,87
		урожайность, ц/га	19,4	22,3	30,7	19,6	14,2
	за теплый период	коэффициент увлажнения	1,42	1,12	0,87	0,69	0,63
		урожайность, ц/га	19,4	24,4	28,3	19,1	16,1
	за вегетационный период	коэффициент увлажнения	1,58	1,1	0,86	0,61	0,47
		урожайность, ц/га	19,4	24,6	24,7	19	14,2

Расчетная зависимость	Период определения	Показатели	Обеспеченность коэффициента увлажнения				
			5%	25%	50%	75%	95%
По Г.Т. Селянинову	за теплый период	ГТК	2,38	1,91	1,49	1,31	0,96
		урожайность, ц/га	15,8	18	19,1	23,3	21,6
	за вегетационный период	ГТК	2,26	1,75	1,55	1,12	0,95
		урожайность, ц/га	27,1	26,6	22,3	17,2	14,2
По М.И. Будыко	за год	индекс сухости	0,63	0,73	0,87	1,03	1,3
		урожайность, ц/га	14,5	22,4	21,6	17,2	21,6
По Д.И. Шашко	за год	коэф. атмосфер. увлажнения	0,83	0,69	0,59	0,5	0,35
		урожайность, ц/га	19,4	22,5	30,7	31,6	28,2
Картофель							
По Н.Н. Иванову	за год	коэффициент увлажнения	1,9	1,35	1	0,81	0,76
		урожайность, ц/га	98,6	122,3	141,7	116,4	90,5
	за теплый период	коэффициент увлажнения	1,45	1,16	0,9	0,77	0,64
		урожайность, ц/га	98,4	139,5	153,7	126,2	91,6
По Г.Т. Селянинову	за теплый период	ГТК	2,21	1,95	1,56	1,32	0,96
		урожайность, ц/га	71	90,9	126,8	113,9	72,1
По М.И. Будыко	за год	индекс сухости	0,57	0,72	0,89	0,97	1,23
		урожайность, ц/га	79,1	127,6	152,8	131,4	72,1
По Д.И. Шашко	за год	коэф. атмосфер. увлажнения	0,86	0,73	0,47	0,40	0,31
		урожайность, ц/га	90,1	128,3	152,8	115,4	72,1
Овощные культуры							
По Н.Н. Иванову	за год	коэффициент увлажнения	1,87	1,67	1,52	1,42	1,08
		урожайность, ц/га	306	312	338	290	213
	за теплый период	коэффициент увлажнения	1,42	1,36	1,2	0,92	0,6
		урожайность, ц/га	300	312	341	290	213
По Г.Т. Селянинову	за теплый период	ГТК	1,43	1,28	0,98	0,96	0,56
		урожайность, ц/га	306	326	310	290	213
По М.И. Будыко	за год	индекс сухости	0,63	0,73	0,87	1,17	1,3
		урожайность, ц/га	265	338	332	268	237
По Д.И. Шашко	за год	коэф. атмосфер. увлажнения	0,83	0,69	0,59	0,37	0,35
		урожайность, ц/га	310	318	338	238	227

### Выводы

1. Комплексная оценка климатических ресурсов Московской области, выполненная по многолетним рядам метеорологических данных трех метеостанций, расположенных в западной (г. Можайск), центральной (г. Москва) и юго-восточной (г. Коломна) частях Московской области, позволила установить, что территория области существен-

но неоднородна по показателям природной тепловлагообеспеченности, рассчитанным по методикам Н.Н. Иванова, Г.Т. Селянинова, М.И. Будыко, Д.И. Шашко.

2. Природная влагообеспеченность возрастает с юго-востока на запад Московской области. Дефицит доступных влагозапасов почвы в западной части области наступает при обеспеченности более 75%, для

условий центральной – при 50%, юго-восточной части – более 25%. За теплый период дефицит естественного увлажнения может достигать 360,8...385,7 мм, а максимальное избыточное увлажнение при обеспеченности до 5% и составляет 288,3 мм; 172 мм; 132,9 мм соответственно для западной, центральной и юго-восточной частей области.

3. Установлена зависимость и дана оценка урожайности картофеля, зерновых и овощных культур от показателей природного увлажнения ( $K_v$ , ГТК и др.) на основе применения расчетных методов.

### Библиографический список

1. Алпатьев А.М. Влагообороты в природе и их преобразования. Л.: Гидрометеоздат, 1969. 324 с.

2. Брыль С.В. Оценка природной тепло-влажностности агроландшафтов Московской области // Экология и строительство. – 2015. – № 3. – С. 27-30.

3. Данильченко Н.В., Аванесян И.М. Оценка увлажненности территории при обосновании норм водопотребности сельскохозяйственных культур. Труды ВНИИГИМ. – М.: ВНИИГИМ, 1985.

4. Понько В.А. Оценка и прогнозирование агроклиматических ресурсов. Новосибирск, 2012. 97 с.

5. Поддубский А.А. Оценка природной влажностности Московской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2015. № 2. С. 45-50.

6. Поддубский А.А., Шуравилин А.В. Прогноз урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от природной влажностности в условиях Москов-

ской области // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2015. № 2 (23). С. 15-17.

7. Поддубский А.А., Шуравилин А.В. Оценка естественной влажностности Московской области и ее учет при землеустройстве мелиоративно неблагоприятных земель // Науки о земле. 2015. № 2. С. 100-113.

8. Цекоева Ф.К. Планирование орошения с учетом пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических условий // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2012. № 12(96). С. 52-57.

Материал поступил в редакцию 19.12.2016 г.

### Сведения об авторах

**Поддубский Антон Александрович**, аспирант агроинженерного департамента, аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8/2. 8(926)816-21-56. E-mail: a.poddubsky@mail.ru

**Шуравилин Анатолий Васильевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор агроинженерного департамента, аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8/2. 8(495)334-11-73

**Сурикова Наталья Вячеславовна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры сельскохозяйственного строительства и архитектуры РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, Москва, ул. Прянишникова, 19. 8(499)976-01-16; e-mail: gushin1963@bk.ru

### A.A. PODDUBSKY, A.V. SHURAVILIN

Federal state autonomous educational institution of higher education «Russian university of peoples' friendship», Moscow, Russian Federation

### N.V. SURIKOVA

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

## INFLUENCE OF MOISTURE PROVISION OF PRODUCTIVITY OF AGRICULTURAL OF CROPS UNDER THE CONDITIONS OF THE MOSCOW REGION

*There are given research results on assessment of natural heat – moisture provision, scarcities of water consumption and their connection with productivity of main agricultural crops (cereals, potato and vegetables). There is shown a calculation of indices of heat – moisture provision per for the western, central and southeastern parts of the Moscow region according to the data of the long-standing observations of meteorological stations «Mozhaisk», «VDNKh (Exhibition of Achievements of the National Economy of the USSR)», «Kolomna» with the use of methods of N.N. Ivanova, G.T. Selyaninova, M.I. Budyko, D.I. Shashko.*

*The annual scarcity of natural moistening begins respectively with the provision at 85%; 80% and 70%, and during warm and vegetation periods – 55%; 40% and 30%. The maximum productivity of cereal crops is obtained with the moisture index on N.N. To Ivanov: 1.24 in a year and 0.87 during a warm period, with hydrothermal coefficient HTC during a warm period 1.3, the coefficient of atmospheric moistening 0.5, with the annual dryness index 0.73. The maximum harvests of potatoes are obtained with the moisture index 1.0 in a year and 0.9 for a warm period, with HTC for a warm period 1.56, dryness index in a year 0.89 and coefficient of atmospheric moistening in a year 0.47. The maximum harvests of table beet are obtained with the moisture indices 1.52 in a year, 1.2 for a warm period and annual coefficient of atmospheric moistening 0.59; and for 25% provision on HTC – 1.28 annual, dryness index – 0.73. The results of calculations indicate to the need of the bilateral regulation of the hydrological condition of soils in the Moscow region.*

*Moscow region, heat – moisture provision, the scarcities of moistening, productivity of agricultural crops.*

### References

1. Alpatjev A.M. Vлагооборoty v prirode i ih preobrazovaniya. L.: Hydrometeoizdat, 1969. 324 s.

2. Brylj S.V. Otsenka prirodnoj teplovлагоobespechennosti agrolandshaftov Moscovskoj oblasti // *Ecologiya i stroiteljstvo*. 2015. Вып. № 3. S. 27-30.

3. Daniljchenko N.V., Avanesyan I.M. Otsenka uvlazhnennosti territorii pri obosnovanii norm vodopotrebnosti celjskohozyaistvennyh kuljtur / Trudy VNIIGIM. M.: VNIIGIM. 1985.

4. Понько V.A. Otsenka i prognozirovaniye agroklimaticheskikh resursov. Novosibirsk, 2012. 97 s.

5. Poddubsky A.A. Otsenka prirodnoj vлагоobespechennosti Moscovskoj oblasti // *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov*. Ceriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo. 2015. № 2. S. 45-50.

6. Poddubsky A.A., Shuravilin A.V. Prognoz urozhainosti seljskohozyajstvennyh kuljtur v zavisimosti ot prirodnoj vлагоobespechennosti v usloviyah Moscovskoj oblasti // *Teoreticheskie i prikladnye problem agropromyshlennogo kompleksa*. 2015. № 2 (23). S. 15-17.

7. Poddubsky A.A., Shuravilin A.V. Otsenka estestvennoj vлагоobespechennosti Moscovskoj oblasti i ee uchet pri zemleustrojstve me-

liorativno neblagopoluchnyh zemelj // *Nauki o zemle*. 2015. № 2. S. 100-113.

8. Tsekoeva F.K. Planirovaniye orosheniya s uchetom prostranstvennoj-vremennoj izmenchivosti hydrometeorologicheskikh uslovij // *Землеустрой-ство, кадастр и мониторинг земель*. 2012. № 12(96). S. 52-57.

The material was received at the editorial office  
19.12.2016

### Information about the authors

**Poddubsky Anton Alexandrovich**, post-graduate student of the agro-engineering department of the institute of the Russian university of peoples' friendship, 117198, Moscow, ul. Mikluho-Maklaya, 8/2. 8(926)816-21-56. E-mail: a.poddubsky@mail.ru

**Shuravilin Anatolij Vasiljevich**, doctor of agricultural sciences, professor of the agro-engineering department of agro-technological institute of the Russian university of peoples' friendship, 117198, Moscow, ul. Mikluho-Maklaya, 8/2. 8(495)334-11-73.

**Surikova Natalya Vyacheslavovna**, candidate of agricultural sciences, associate professor of the chair of agricultural building and architecture RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19. 8(499)976-01-16; e-mail: gushin1963@bk.ru

УДК 502/504:633.283:631.67: 631.432

**В.И. ЖЕЛЯЗКО, В.М. ЛУКАШЕВИЧ**

Учреждение образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» Республика Беларусь, г. Горки

**ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКИХ УРОЖАЕВ ЗЕРНА И ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ ЯПОНСКОГО ПРОСА В УСЛОВИЯХ ДОЖДЕВАНИЯ**

*Целью исследований является регулирование водного режима дерново-подзолистых суглинистых почв при дождевании японского проса в условиях северо-восточной зоны Беларуси. Основные измерения были приведены по следующим методикам: влажность почвы – термостатно-весовым методом; наименьшая влагоемкость – методом затопливаемых площадок; плотность почвы – методом «режущего» кольца; плотность твердой фазы – пикнометрическим методом; пористость – расчетным путем; описание почвенного разреза – по генетическим горизонтам; биометрические показатели растений (площадь, количество и доля листьев; высота растений; полевая всхожесть семян и т.д.) по общепринятой методике проведения наблюдений и измерений для злаковых культур. Агрохимические анализы почв выполняли на кафедре почвоведения УО «БГСХА». Установлено, что дождевание японского проса на дерново-подзолистых суглинистых почвах северо-восточной зоны Беларуси при уровне минерального питания  $N_{90}P_{110}K_{150}$  и 3-укосном использовании обеспечивает прибавку урожая сухого вещества по сравнению с естественным увлажнением при нижних порогах предполивной влажности 60% НВ – 30,2 ц/га (28,4%), при 70% НВ – 56,5 ц/га (53,1%), при 80% НВ – 99,0 ц/га (93,0%). При возделывании на зерно прибавки урожая для указанных пределов предполивной влажности следующие: для 60% НВ – 3,0 ц/га (12,0%), 70% НВ 10,0 ц/га (40,0%), 80% НВ – 16,1 ц/га (64,4%). В результате опытов установлено, что орошение японского проса повышает его кормовую ценность по сравнению с естественным увлажнением. Так, содержание сырого протеина увеличивается на 6,1-24,4% при сенокосном использовании и на 8,5-20,9% при использовании на зерно.*

*Японское просо, водный режим, дерново-подзолистая суглинистая почва, дождевание, кормовая ценность, расчетный слой, минеральное питание.*

**Введение.** Общая площадь мелиорированных земель в Республике Беларусь на 1 января 2015 г. составляет 3,44 млн га, из которых 3,2 млн га заняты различного рода травостоями [1]. Однако площади улучшенных сенокосов и пастбищ имеют низкую продуктивность (1700-1900 к. ед/га) и не соответствуют современным требованиям интенсивного лугового хозяйства [2]. В свою очередь это связано с неблагоприятным водно-воздушным режимом почв, на которых возделываются сельскохозяйственные культуры. Многие травы нуждаются в большом количестве влаги в почве. Их транспирационный коэффициент составляет от 600 до 800 ед и более. Это значит, что на формирование 1 т сухого вещества растение расходует 600-800 т воды [3].

Анализ условий естественной влагообеспеченности минеральных почв Беларуси свидетельствует о крайней неравномерности распределения осадков как по годам, так и в отдельные периоды вегетации. В результате не обеспечивается оптимальный водный режим почв для трав. Недостаток увлажнения минеральных почв за летний

период в сухой год повторяемостью один раз в 5 лет составляет от 80-150 мм в северной до 190-240 мм в южных частях республики. Многолетние исследования Белорусского НИИ мелиорации и луговодства показали, что для получения высоких и устойчивых урожаев трав необходимо подавать воды орошением в средние годы 600-1500, а в засушливые – 1000-2400 м<sup>3</sup>/га [4].

Влияние дополнительного увлажнения почвы сказывается на повышении урожая трав почти в 2 раза, а в сухие годы – почти в 3-3,5 раза. Кроме этого, обеспечивается более равномерное его распределение по укосам или циклам стравливания на пастбище, удлиняется продолжительность его использования, улучшается ботанический состав травостоев и качество корма [4].

Основными объектами орошения являются высокорентабельные и влаголюбивые культуры, которые при их орошении дают гарантированный и качественный урожай [4]. Одной из таких культур является японское просо (пайза). Она обладает высокими кормовыми достоинствами: зеле-

ная масса содержит 12-13% сырого протеина, до 3% жира и до 11% сахара. Сухого вещества содержится 28-32%. В 100 кг зерна пайзы – 92,7 к.ед. и 10,5 кг перевариваемого протеина; а в 100 кг зеленой массы – 12-13 к.ед. и 1,5-1,6 кг перевариваемого протеина. После скашивания или раннего стравливания пайза хорошо отрастает и в течение вегетационного периода может сформировать 2-4 укоса, особенно при достаточном количестве влаги и суммы активных температур. Данная культура способна сформировать урожай зеленой массы до 1000 ц/га, зерна (семян) до 40 ц/га, сена до 140 ц/га [5].

Из источников литературы установлено, что на урожайность японского проса в значительной мере влияет влагообеспеченность. При снижении влажности почвы ниже 60% НВ даже на короткий период времени урожайность снижается в 2-4 раза [6]. Поэтому в регионах с неустойчивой естественной влагообеспеченностью возникает потребность в орошении данной сельскохозяйственной культуры.

**Материал и методы.** Полевые опыты были проведены на опытном орошаемом поле УО БГСХА «Тушково-1» Горецкого района Могилевской области в 2012-2015 гг. Основным источником формирования влагозапасов являются атмосферные осадки. Почвы – дерново-подзолистые суглинистые. Водно-физические свойства почвы в слое 0...100 см в среднем характеризуются следующими показателями: плотность сложения – 1,55 г/см<sup>3</sup>, плотность твердой фазы – 2,66 г/см<sup>3</sup>, наименьшая влагоемкость – 22,5% к массе сухой почвы. Наблюдения за метеорологическими показателями проводили непосредственно на опытном участке с помощью оборудованного метеорологического поста.

Схема опыта включала в себя следующие варианты: 1 – контроль (без орошения); 2 – орошение японского проса при снижении предполивной влажности до уровня 60% НВ; 3 – орошение японского проса при снижении предполивной влажности до уровня 70% НВ; 4 – орошение японского проса при снижении предполивной влажности до уровня 80% НВ.

Верхним пределом оптимального увлажнения почвы принята наименьшая влагоемкость. Для исключения поступления воды с соседних участков, а также переноса струй ветром установлены защитные полосы шириной 10...20 м. Расположение участков опытного участка увязывали со схемой полива дождевальными машинами для обе-

спечения равномерного увлажнения почвы. Сроки полива устанавливали по мере снижения влажности почвы до нижнего предполивного предела в расчетном слое почвы. При этом влажность почвы определяли с интервалом 5...7 сут. За расчетный слой почвы принят слой 0...50 см.

Технология возделывания японского проса в опыте является общепринятой. Для проводимых нами исследований был выбран сорт Удаляя 2. Способ посева сплошной рядовой с нормой высева составляет 4,5 млн шт/га. Полевая всхожесть составила 68%. В фазе кущения проводили химическую обработку посевов препаратами агритокс и прима (нормой 0,7 л/га). Сроки уборки – 2 и 3 декады сентября. Учет урожая орошаемой культуры проводили сплошным методом. Статическую обработку результатов исследований проводили с использованием традиционных методик [7].

**Результаты и обсуждение.** Годы проведения исследований имели различия в характере естественной тепло-влажностности вегетационных периодов японского проса, что обусловило различия в режимах дополнительного увлажнения по годам.

В таблице 1 приведены результаты экспериментально установленных сроков и норм полива за вегетационные периоды 2012-2015 гг.

Анализ таблицы 1 показывает, что возделывание японского проса в северо-восточной зоне Беларуси в разные по погодным условиям годы исследований требует в той или иной степени оптимизации условий влагообеспеченности растений. Наибольший дефицит потребления влаги в вариантах с оптимальным увлажнением наблюдали во все годы в начале и середине вегетационного периода, когда культура наиболее требовательна к влаге. На этот период приходится основная часть проведенных поливов (от 1 до 4).

Оросительные нормы и минимальные межполивные интервалы за периоды вегетации культуры и за годы исследований значительно различались между собой. Так, в избыточно увлажненный по осадкам и средний по температуре воздуха год (2012) потребовалась минимальная по годам исследований оросительная норма (650 м<sup>3</sup>/га), минимальный межполивной интервал ( $T_{\min}$ ) при этом составил 20-22 сут. Для слабозасушливого, близкого к засушливому и теплому году (2013) потребовалась оросительная норма 1000 м<sup>3</sup>/га с  $T_{\min}$ , равным 13 сут. В оптимальном по увлажнению и теплом

по теплообеспеченности году (2014) оросительная норма составила 900 м<sup>3</sup>/га, а межполивной интервал – 9...34 сут. В засушливом (2015) году необходимая оросительная норма для нормального развития растений составила 1800 м<sup>3</sup>/га, а минимальный межполивной интервал – 9-44 сут.

Таблица 1

**Режим орошения японского проса за вегетационные периоды 2012-2015 гг. по метеостанции Тушково-1**

Вариант	Номер полива	Дата полива	Норма полива, м <sup>3</sup> /га	Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га
2012 год				
60% НВ	1	31.07.2012	250	250
70% НВ	1	11.07.2012	250	500
	2	02.08.2012	250	
80% НВ	1	25.05.2012	150	650
	2	11.07.2012	250	
	3	31.07.2012	250	
2013 год				
60% НВ	1	09.08.2013	250	500
		09.08.2013	250	
70% НВ	1	26.06.2013	300	800
	2	09.08.2013	350	
	3	22.08.2013	150	
80% НВ	1	20.06.2013	300	1000
	2	19.07.2013	300	
	3	09.08.2013	250	
	4	22.08.2013	150	
2014 год				
60% НВ	1	11.07.2014	150	350
		14.08.2014	200	
70% НВ	1	11.07.2014	200	500
	2	11.08.2014	300	
80% НВ	1	19.06.2014	200	900
	2	11.07.2014	150	
	3	05.08.2014	300	
	4	14.08.2014	250	
2015 год				
60% НВ	1	09.06.2015	300	900
	2	17.07.2015	300	
	3	25.08.2015	300	
70% НВ	1	21.05.2015	300	1500
	2	11.06.2015	300	
	3	06.07.2015	300	
	4	19.08.2015	300	
	5	01.09.2015	300	
80% НВ	1	11.05.2015	300	1800
	2	04.06.2015	300	
	3	30.06.2015	300	
	4	14.07.2015	300	
	5	12.08.2015	300	
	6	21.08.2015	300	

Наибольшая урожайность сухого вещества японского проса за вегетационный период 2012 г. составила 219,3 ц/га в четвертом опытном варианте, что на 95,6 ц/га больше, чем в контроле (123,6 ц/га). В вариантах с искусственным увлажнением в период второго и третьего укосов наблюдается значительный прирост урожая сухого вещества по сравнению с контролем. Так, во втором укосе прибавка урожая в варианте 2 составила 11,8 ц/га, в варианте 3-19,9 ц/га, в варианте 4-47,2 ц/га; в третьем укосе в варианте 2-16,1 ц/га, в варианте 3-20,9 ц/га, в варианте 4-31,2 ц/га. Урожайность зерна по вариантам опытов распределилась следующим образом: в первом – 25,9 ц/га, во втором – 27,3 ц/га, в третьем – 35,5 ц/га, в четвертом – 42,6 ц/га.

Урожайность сухого вещества за вегетационный период 2013 г. в варианте с естественным увлажнением имела минимальные значения за 4 года проведенных опытов по этому варианту и соответствовала 86,2 ц/га. Прибавки урожая за вегетацию в вариантах с искусственным увлажнением по сравнению с контролем составили: во втором – 12,9 ц/га; в третьем – 60,0 ц/га; в четвертом – 111,2 ц/га. Во втором варианте в периоды первого и второго укосов, когда по режиму орошения поливы не проводились, прибавки урожая были незначительными (1,1 ц/га). Урожайность зерна в варианте без орошения составила 24,1 ц/га. Максимальная прибавка урожайности составила 13,2 ц/га (54,8% от контроля) в варианте 4. Во втором и третьем вариантах прибавки урожайности также существенны: 3,5 и 8,4 ц/га (14,5 и 34,9%) соответственно.

В 2014 г. в варианте с естественным увлажнением урожайность сухой массы составила 101,7 ц/га, а зерна – 25,3 ц/га. Прибавки урожайности возрастали с увеличением оросительной нормы по вариантам опытов в следующем порядке: в варианте 2-19,7 ц/га; в варианте 3-33,7 ц/га; в варианте 4-68,8 ц/га для сухого вещества; в варианте 2-3,5 ц/га; в варианте 3-8,8 ц/га; в варианте 4-15,2 ц/га при возделывании на зерно. Наибольшие прибавки урожайности отмечены во втором укосе: от 14,4 до 27,9 ц/га.

В засушливом 2015 г. получен максимальный урожай японского проса за весь период исследований во всех орошаемых вариантах, а именно: в варианте 2-176,1 ц/га; в варианте 3-204,8 ц/га; в варианте 4-234,2 ц/га для сухого вещества; в варианте 2-28,4 ц/га;

в варианте 3-37,7 ц/га; в варианте 4-44,0 ц/га при возделывании на зерно. Высокие прибавки урожая данной культуры обусловлены прежде всего достаточной теплообеспеченностью вегетационного периода, продолжительностью возделывания культуры (01.05.2015-24.09.2015 гг.) и своевременным искусственным увлажнением согласно схеме опыта.

В среднем за четыре года исследований прибавка урожая в сухом веществе по сравнению с контролем составила 30,2 ц/га

(28,4%) во втором, 56,5 ц/га (53,1%) – в третьем, 99,0 ц/га (93,0%) – в четвертом вариантах. Прибавка урожая при возделывании на зерно составила соответственно 3,0 ц/га (12,0%), 10,0 ц/га (40,0%), 16,1 ц/га (64,4%).

В результате оценки кормовой ценности было определено содержание сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатке, сырой золы, безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ). Результаты химического анализа урожая японского проса за период исследований представлен в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты химического анализа урожая японского проса  
в среднем за вегетационные периоды 2012-2015 гг.**

Вариант	Сырой протеин, %	Сырой жир, %	Сырая клетчатка, %	Зола, %	БЭВ, %
Вариант 1	<u>10,8...13,1</u> 12,9...15,3	<u>1,3...1,7</u> 3,7...4,4	<u>22,6...24,3</u> 9,7...11,4	<u>8,7...9,4</u> 1,6...2,2	<u>56,6...51,5</u> 72,1...66,7
Вариант 2	<u>13,0...13,9</u> 14,0...16,6	<u>1,7...1,9</u> 4,6...5,0	<u>26,0...27,2</u> 11,1...12,8	<u>10,3...11,2</u> 1,8...2,5	<u>49,0...45,8</u> 68,5...63,1
Вариант 3	<u>14,5...15,0</u> 14,3...17,4	<u>2,3...2,5</u> 4,8...5,6	<u>29,1...30,5</u> 13,4...13,9	<u>12,2...12,8</u> 2,4...3,1	<u>41,9...39,2</u> 65,1...60,0
Вариант 4	<u>15,0...16,3</u> 15,7...18,5	<u>2,4...2,8</u> 5,5...5,9	<u>32,5...34,9</u> 13,5...14,7	<u>13,5...13,9</u> 2,9...3,3	<u>36,6...32,1</u> 62,4...57,6

**Примечание.** В числителе – значения для сухого вещества; в знаменателе – значения для зерна.

Важнейшим показателем кормовой ценности однолетних трав является содержание сырого протеина. По нормативам его содержание в травах считается оптимальным в пределах 12-14% в сухом веществе. Исходя из этих требований, по содержанию сырого протеина урожай японского проса отвечает нормативным требованиям: в сухом веществе в первом варианте – 10,8...13,1%; во втором – 13,0...13,9%; в третьем – 14,5...15,0%; в четвертом – 15,0...16,3%; в зерне в первом варианте – 12,9...15,3%; во втором – 14,0...16,6%; в третьем – 14,3...17,4%; в четвертом – 15,7...18,5%. Из приведенных данных следует, что доля сырого протеина в вариантах с орошением значительно выше, чем в варианте с естественным увлажнением.

Содержание сырого жира в урожае в вариантах с орошением также увеличивается по сравнению с контролем. Наибольшие значения доли сырого жира в четвертом варианте: для сухого вещества – до 2,8%; зерна – до 5,9%, что почти в 2 раза больше, чем в первом варианте.

Одним из важных компонентов в рационе животных является клетчатка. Она необходима для нормального функционирования пищеварительного тракта. Содержа-

ние клетчатки в урожае пайзы при возделывании на сухое вещество в варианте с естественным увлажнением находилось в пределах 22,6...24,3%, а в вариантах с орошением – 26,0...34,9%.

Определение зольности в сухой массе показало, что ее значения гораздо выше в вариантах с орошением, чем при возделывании на зерно. Наибольшее ее значение в четвертом варианте при возделывании на сухую массу – 13,9%, а наименьшее в варианте с естественным увлажнением при возделывании на зерно – 9,7%.

Содержание безазотистых экстрактивных веществ (крахмал, сахар, органические кислоты и др.) с увеличением предполивного порога влажности уменьшалось: в сухой массе в первом варианте – 56,6...51,5%; во втором – 49,0...45,8%; в третьем – 41,9...39,2%; в четвертом – 36,6...32,1%; в зерне в первом варианте – 72,1...66,7%; во втором – 68,5...63,1%; в третьем – 65,1...60,0%; в четвертом – 62,4...57,6%.

### Выводы

1. Дождевание японского проса на дерново-подзолистых суглинистых почвах северо-восточной зоны Беларуси при уровне

минерального питания  $N_{90}P_{110}K_{150}$  и 3-укосном использовании обеспечивает прибавку урожая сухого вещества по сравнению с естественным увлажнением при нижних порогах предполивной влажности: 60% НВ – 30,2 ц/га (28,4%), при 70% НВ – 56,5 ц/га (53,1%), при 80% НВ – 99,0 ц/га (93,0%).

При возделывании на зерно прибавки урожая для указанных пределов предполивной влажности составляют: для 60% НВ – 3,0 ц/га (12,0%), 70% НВ 10,0 ц/га (40,0%), 80% НВ – 16,1 ц/га (64,4%).

2. Орошение японского проса повышает его кормовую ценность по сравнению с естественным увлажнением. Так, содержание сырого протеина увеличивается на 6,1-24,4% при сенокосном использовании и на 8,5-20,9% при использовании на зерно.

### Библиографический список

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь: Статистический сборник. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2015. 253 с.

2. Пастушок Р.Т. Способы повышения продуктивности старовозрастных луговых травостоев на мелиорированных почвах Поозерья: Автореф. ...дис. канд. с.-х. наук. Минск: РУП «Институт мелиорации», 2016. 23 с.

3. Шелюто А.А. Технология создания и улучшения лугов: Учебное пособие. Горки: УО «БГСХА», 2002. 110 с.

4. Регулирование водного режима торфяных и минеральных почв // Сборник на-

учных трудов. Минск: Мин-во мелиорации и водного хозяйства СССР, 1981. 179 с.

5. Боярский А.В. Разработка технологических приемов возделывания пайзы на зеленую массу в северной лесостепи Кузнецкой котловины: Автореф. дис. ...канд. с.-х. наук / А.В. Боярский. Сибирский научно-исследовательский институт кормов СО РАС-ХН, 2002. 14 с.

6. Корзун О.С., Исаев С.В. Метеорологические условия формирования урожайности пайзы при различных сроках посева // Вестник БГСХА. 2011. № 1. С. 91-101.

7. Бишоф Э.А., Калмыков Г.С. Методические указания по статической обработке экспериментальных данных в мелиорации и почвоведении. Л.: Типография № 6, 1977. 270 с.

Материал поступил в редакцию 30.05.2016 г.

### Сведения об авторах

**Желязко Владимир Иосифович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, декан мелиоративно-строительного факультета; УО БГСХА; 213407, Республика Беларусь, г. Горки Могилевской обл., ул. Мичурина, 5, деканат МСФ; e-mail: msfdekan@mail.ru, тел.: 8-10-375-2233-7-97-37

**Лукашевич Виктор Михайлович**, ассистент кафедры мелиорации и водного хозяйства; УО БГСХА; 213407, Республика Беларусь, г. Горки Могилевской обл., ул. Мичурина, 5; e-mail: lukashevich\_vikt@mail.ru, тел. 8029-571-15-56.

V.I. ZHELEZKO, V.M. LUKASHEVICH

Institution of education «Belorussian state agricultural academy», Republic Belarus, Gorki

## OBTAINING HIGH HARVESTS AND GREEN MASS OF ECHINOCHLOA FRUMENTACEA UNDER CONDITIONS OF SPRINKLER IRRIGATION

*The aim of the research is the regulation of the water regime of sod-podzolic loamy soils under sprinkler irrigation of Echinochloa frumentacea under the conditions of the North-Eastern area of Belarus. The main measurements were made according to the following methods: soil moisture – by a thermostatic-weight method; the lowest water-holding capacity – by the method of flooded areas; soil density – by the method of a “cutting” ring; density of the solid phase – by a pycnometer method; porosity – calculation; description of the soil cut – according to genetic horizons; biometric indicators of plants (area, number and percentage of leaves; plant height; field seed germination, etc.) according to the standard method of observations and measurements of cereals. Agrochemical analyses of soils were performed at the department of soil science UO «BSAA». It is established that sprinkling of Echinochloa frumentacea on sod-podzolic loamy soils of the North-Eastern zone of Belarus at the level of mineral nutrition  $N90P110K150$  and 3- hay provides the yield increase of a dry matter in comparison with the natural moistening at low thresholds of the pre-irrigation moisture 60% НВ – 30.2 q/h (28.4%), with 70% НВ – 56.5 q/h (53.1%), with 80% НВ – 99.0 q/h (93.0%). At cultivation*

on grain the yield increase for specified limits of pre-irrigation humidity are as follows: 60% HB – 3.0 q/h (12.0%), 70% HB – 10.0 q/h (40.0%), 80% HB – 16.1 q/h (64.4%). So the content of crude protein increases by 6.1 to 24.4% in hay use and by 8.5-20.9% while using on grain.

*Echinochloa frumentacea, water regime, sod-podzolic loamy soil, sprinkler irrigation, feeding value, calculated level, mineral nutrition.*

### References

1. Oхрана okružhayushchej sredy v Respublike Belarus: Statisticheskyy sbornik. Minsk: Natsionalny statistichesky comitet Respubliki Belarus, 2015. 253 s.
2. Pastushok R.T. Sposoby povysheniya productivnosti starovozrastnykh lugovykh travostoev na meliorirovannykh pochvah Poozerja: Avtoref. ...dis. cand. s-h. nauk. Minsk: RUP «Institut melioratsii», 2016. 23 s.
3. Shelyuto A.A. Tehnologiya sozdaniya i uluchsheniya lugov: Uchebnoye posobie. Gorki: UO «BGSHA», 2002. 110 s.
4. Regulirovanie vodnogo rezhima torfyanykh i mineralnykh pochv // Sbornik nauchnykh trudov. Minsk: Min-vo melioratsii i vodnogo hozyajstva SSSR, 1981. 179 s.
5. Boyarskij A.V. Razrabotka tehnologicheskikh priemov vzdelyvaniya paizy na zele-nuyu massu v severnoj lesostepi Kuznetskoj kotloviny: Avtoref. Dis... Cand. s-h. Nauk / A.V. Boyarskij. Sibirskiy nauchno-issledovatel'skij institute kormov SO RASHN, 2002. 14 s.
6. Korzun O.S., Isaev S.V. Meteorologicheskije usloviya formirovaniya urozhainosti

paizy pri razlichnykh srokah poseva // Vestnik BGSHA. 2011. № 1. S. 91-101.

7. Bishof E.A., Kalmykov G.S. Metodicheskie ukazaniya po statisticheskoj obrabotke experimentalnykh dannykh v melioratsii i pochvovedenii. L.: Tipografiya № 6, 1977. 270 s.

The material was received at the editorial office  
30.05.2016

### Information about the authors

**Zhelyazko Vladimir Iosifovich**, doctor of agricultural sciences, professor, dean of the land reclamation – building department; UO BGSHA; 213407, Republic Belarus, Gorki, Mogilevskaya region, ul. Michurina, 5, department MSF; e-mail: msfdekan@mail.ru, тел.: 8-10-375-2233-7-97-37

**Lukashevich Victor Mikhailovich**, assistant of the chair of land reclamation and water economy; UO BGSHA; 213407, Republic Belarus, Gorki, Mogilevskaya region, ul. Michurina, 5, e-mail: lukashevich\_vikt@mail.ru, tel. 8029-571-15-56.

УДК 502/504: 63:551.48

### В.Н. КРАСНОЩЕКОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», Институт государственной службы и управления, г. Москва, Российская Федерация

### Д.Г. ОЛЬГАРЕНКО, О.Н. РОЖКОВА

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

## ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

*В статье показано, что отсутствие системного подхода к оценке влияния изменения климата на развитие сельского хозяйства (без совместного учета экологических, экономических и социальных факторов) приводит зачастую к необъективным выводам. Обоснована нецелесообразность экстенсивного пути развития сельского хозяйства в северной части нашей страны в результате возможного изменения климата. Предложен механизм смягчения последствий климатических изменений, поддержки уровня продовольственной и экологической безопасности страны и минимизации воздействия сельского хозяйства на климат, предусматривающий оптимизацию структуры сельскохозяйственных угодий, широкое развитие комплексных мелиораций и прогрессивных технологий в комплексе. Реализация предложенного механизма смягчения последствий климатических изменений для сельского хозяйства будет способствовать эффективному использованию природных ресурсов, сохранению*

*и увеличению природного капитала, уменьшению загрязнения водных объектов, снижению углеродных выбросов (ограничению эмиссии парниковых газов), предотвращению утраты экосистемных услуг и биоразнообразия, повышению экологической устойчивости культурных (агроландшафтов) и природных ландшафтов, и в конечном итоге – устойчивому развитию сельского хозяйства.*

*Изменение климата, сельское хозяйство, деградация почв, комплексные мелиорации, политика «двойного выигрыша», эффективность.*

**Введение.** Глобальное изменение климата является серьёзным вызовом человечеству. Несмотря на это до сих пор нет однозначного ответа на вопрос о том, что является причиной, а что – следствием этого процесса. Объясняется это тем, что изменение климата является сложной проблемой, обусловленной как естественными факторами (форма орбиты вращения земли вокруг солнца, наклон земной оси, изменение ориентации земной оси и др.), так и всевозрастающим влиянием хозяйственной деятельности человека (техногенные выбросы парниковых газов, степень нарушенности территорий). Нарушение механизма естественного регулирования состава атмосферы за счет названных выше причин ведет к изменению климата и предполагает перестройку всех геосистем. А разбалансировка этих систем, обусловленная изменением климата, будет сопровождаться негативными последствиями и оказывать существенные воздействия на социально-экономическую деятельность, качество жизни населения и на общество в целом.

Все это указывает на необходимость дальнейшего исследования происходящих и предполагаемых в будущем региональных изменений климата. Особенно важна количественная оценка климата для России, поскольку из-за значительных различий природно-климатических зон изменения климата проявляются крайне неравномерно. Однако проблема прогнозирования осложняется тем, что многие гипотезы естественных и климатических изменений противоречивы в силу большой неопределенности многих природных изменений, сложности и неоднозначности процессов и недостаточности научных разработок в этой области. И все же, несмотря на неопределенность климатических прогнозов, можно с уверенностью сказать, что в наибольшей степени изменению климата подвержен такой вид деятельности, как сельское хозяйство. В связи с этим возникает необходимость оценки возможных последствий в сельском хозяйстве от изменения климата и в разработке комплекса меро-

приятий (программ) по адаптации аграрного сектора к меняющимся природным условиям, по минимизации воздействия сельского хозяйства на климат.

#### **Материал и методы исследований.**

Общий тон выполненных прогнозов является позитивным – в них предсказываются положительные результаты глобального изменения климата для сельского хозяйства России [1, 2]. Обычно в качестве положительных последствий указывают:

- увеличение площади сельскохозяйственных земель за счет смещения природно-климатических зон в северном направлении;
- рост продолжительности вегетационного периода;
- увеличение теплообеспеченности сельскохозяйственных культур и повышение их урожайности в северных областях (в основном в Нечерноземной зоне).

С этим можно согласиться лишь отчасти. Действительно, в отдельных районах страны, к которым относятся северные и северо-западные территории, в результате изменения климата (увеличения температурного режима и естественного увлажнения) могут улучшиться условия для ведения сельского хозяйства и произойдет увеличение продуктивности сельскохозяйственных культур. Однако в основных сельскохозяйственных районах страны, особенно в Южном, Приволжском, Сибирском и Уральском федеральных округах, за счет изменения гидротермического режима (снижения годовой суммы осадков и повышения температуры) может произойти существенное снижение урожайности сельскохозяйственных культур (табл. 1).

Помимо изменения продуктивности сельскохозяйственных угодий, потепление климата приведет и к другим социально-экономическим и природным последствиям, которые в свою очередь негативно скажутся на условиях функционирования сельского хозяйства, а именно:

- к изменению уровня плодородия сельскохозяйственных земель за счет изменения гидротермического режима террито-

рий, эрозии почв, минерального голодания, осолонцевания, засоления и подтопления, загрязнения и процессов опустынивания;

- к росту водопотребления сельскохозяйственных культур, снижению водообеспеченности и ухудшению качества водных ресурсов в засушливых районах;

- к перестройке биоты, снижению качества жизни населения и др.

Таблица 1

**Динамика урожайности  
сельскохозяйственных культур  
(отклонения от современного  
уровня, %) при изменении климата  
(по данным ВНИИСХМ [3])**

Федеральные округа	Зерновые культуры		Кормовые культуры	
	период прогнозирования, годы			
	2030	2050	2030	2050
Центральный	-5	-14	1	
Северо-Западный	8	9	16	20
Южный	-8	-2	-14	-17
Приволжский	-13	-30	-1	-12
Уральский	-26	-38	1	-9
<b>Россия в целом</b>	<b>-9</b>	<b>-17</b>	<b>0</b>	<b>-7</b>

Все это свидетельствуют о том, что возможные последствия от изменения климата для сельского хозяйства будут носить негативный характер на большей части территории страны и могут стать критическими для экономики в целом. Почему же тогда во многих климатических сценариях и прогнозах различных министерств и ведомств Российской Федерации и научного сообщества преобладает позитивный взгляд на последствия изменения климата для сельского хозяйства нашей страны? Причина кроется в том,

что в них отсутствует комплексный подход к оценке влияния потепления климата на аграрный сектор с учетом экологических и социально-экономических факторов (в них учитывается только экономический фактор).

Комплексный подход к оценке данной проблемы позволяет сделать вывод о том, что сельское хозяйство не только находится под влиянием изменения климата, но само вносит существенный вклад в изменение климатических процессов через трансформацию природных ландшафтов в агроландшафты (распашка земель), изменение гидротермического режима, проведение комплекса мелиоративных мероприятий (агротехнических, агролесотехнических, гидротехнических, химических, биологических и др.) и др. В таком случае оптимистическое предположение о позитивном воздействии потепления климата на рост площадей сельскохозяйственных земель за счет смещения природно-климатических зон в северном направлении вызывает сомнение по ряду причин, которые будут рассмотрены ниже.

Расширение территорий, благоприятных для ведения сельского хозяйства, за счет распашки земель ведет к изменению структуры теплового баланса (рост затрат солнечной энергии на теплообмен с атмосферой, снижение влажности воздуха и затрат тепла на испарение), снижению естественного увлажнения и увеличению засушливости территорий и, в конечном итоге, к изменению климата [4, 5] (табл. 2). Подтверждением этого являются данные о частоте катастрофических засух в России, которые свидетельствуют о том, что их повторяемость увеличилась с XVII по XX вв. с 1-2 до 3-5 раз в 10 лет.

Таблица 2

**Изменение структуры теплового баланса**

Характер поверхности почвы	Статьи теплового баланса, %				
	радиационный баланс	теплообмен с атмосферой	затраты тепла на испарение	теплообмен в почве	сумма атмосферных осадков
Лес	100	26	72	2	100
Луг	100	46	52	2	85-95
Оголенная поверхность	100	69	29	2	75-80

На нецелесообразность экстенсивного пути развития сельского хозяйства (возможное расширение территорий в северном направлении в результате изменения климата) указывают и следующие причины социально-экономического и экологического характера.

– Площадь сельхозугодий не является для нашей страны лимитирующим фактором. Более того, по разным оценкам за период проведения экономических реформ в агропромышленном комплексе произошло сокращение посевных площадей на 40 млн га. Огромные площади сельскохозяйственных

земель с высоким потенциалом (мелиорируемые земли) в настоящее время не используются и в зоне предполагаемого расширения территорий вследствие изменения климата. Причиной этого являются не природно-климатические условия, которые, как было отмечено выше, возможно, смогут улучшиться при изменении климата.

– Территориальное размещение сельскохозяйственного производства. Главные сельскохозяйственные районы России сосредоточены в лесостепной, степной и сухостепной зонах, где основными факторами размещения являются природный потенциал региона; развитие научно-технического прогресса и совершенствование материально-технической базы производства; трудообеспеченность региона; условия хранения и транспортировки сырья; местоположение хозяйств по отношению к рынкам сбыта продукции; землеобеспеченность; экономическая эффективность производства продукции в регионе и др. Все это свидетельствует о том, что в условиях изменения климата рост сельскохозяйственного производства будет происходить за счет не ввода новых малопродуктивных земель в северных районах, а интенсификации имеющихся сельскохозяйственных угодий, расположенных на территориях с высоким биоклиматическим потенциалом. В настоящее время в основных сельскохозяйственных районах фактическая продуктивность зерновых культур не превышает 65% от потенциально возможной продуктивности.

– Высокая степень нарушенности структуры природных ландшафтов (отношение интенсивно используемых земель к общей площади ландшафта) во всех природно-климатических зонах включая и северные районы нашей страны, которая превышает допустимые с экологической точки зрения значения (в 1,5-2 раза и выше) и указывает на необходимость трансформации имеющихся пахотных земель в полуприродные ландшафты. С изменением климата этот показатель будет увеличиваться за счет дальнейшего развития деградационных процессов.

– Низкая инфраструктурная и перерабатывающая обеспеченность сельскохозяйственного производства, низкий технологический потенциал.

– Низкий уровень воспроизводства человеческого капитала, сложная демографическая ситуация (отрицательный естественный прирост населения), снижение численности сельского населения и качества его жизни.

**Результаты и обсуждение.** Отсутствие возможности компенсации последствий изменения климата в сельском хозяйстве за счет расширения пахотных земель в северном направлении указывает на необходимость разработки долгосрочных программ адаптации сельского хозяйства России к климатическим изменениям. Эти программы должны быть направлены на смягчение последствий климатических изменений, поддержку уровня продовольственной и экологической безопасности страны и минимизацию воздействия сельского хозяйства на климат. Достижение целей программ возможно, с нашей точки зрения, за счет комплексного решения таких вопросов (инновационных технологий), как:

- научная организация территории за счет оптимизации структуры сельскохозяйственных угодий и разработки комплекса мер по переводу части пахотных земель в полуприродные ландшафты (трансформации пашни в сенокосы, пастбища, луга, лесной массив в зависимости от природно-климатической зоны);

- проведение комплекса мелиоративных мероприятий, включающих в себя агротехнические, агролесотехнические, агрохимические, биологические, гидротехнические и другие виды мелиорации;

- широкое внедрение ресурсосберегающих технологий и новых систем земледелия (адаптивно-ландшафтная система земледелия, биологическое земледелие, точное земледелие и др.), основанных на гармоничном сочетании интересов общества и законов развития природы.

При обосновании комплекса мелиоративных мероприятий особое внимание должно уделяться учету экологических и социально-экономических факторов (техническое состояние гидромелиоративных объектов, природные и хозяйственные факторы, формирующие природное и экономическое плодородие почв и направленность процессов почвообразования; динамика изменения состояния основных компонентов природной среды в результате осуществления хозяйственной деятельности и комплекс мероприятий по созданию оптимального мелиоративного режима сельскохозяйственных земель; экологическая ценность природных экосистем; степень нарушенности структуры агроландшафтов и природных ландшафтов; степень эрозии почв; ущерб здоровью человека и др.) через разработанную систему моделей и критериев. Такой подход к обоснованию степени нару-

шенности структуры природных ландшафтов и комплекса мелиоративных мероприятий с использованием прогрессивных систем земледелия отвечает политике «двойного выигрыша» (наряду с экономической выгодой позволяет получить экологический эффект).

Ниже политика «двойного выигрыша» от реализации комплекса мелиоративных мероприятий будет проиллюстрирована на примере лесной зоны Центрального федерального округа (Брянская, Владимирская, Ивановская, Калужская, Костромская, Московская, Орловская, Рязанская, Тверская, Тульская и Ярославская области). Результаты исследований показали, что комплекс мелиоративных мероприятий должен включать в себя [6]:

- уменьшение площади пашни за счет залужения части пахотных земель с уклонами поверхности больше  $5^{\circ}$ ;

- предупреждение и борьбу с эрозией и дефляцией почв за счет устройства лесных полевых защитных насаждений, агротехнических мероприятий;

- улучшение состояния естественных пастбищ и сенокосов;

- трансформацию заброшенных сельскохозяйственных земель в сенокосы и пастбища;

- увеличение продуктивности сельскохозяйственных земель, включая и орошаемые земли, за счет совершенствования системы земледелия, предупреждения и ликвидации последствий деградационных процессов (эрозия, дефляция, засоление, осолонцевание, сработка запасов гумуса);

- регулирование кислотно-щелочного и питательного режимов почв сельскохозяйственных угодий;

- реконструкцию действующих мелиоративных систем и дальнейшее развитие орошения земель, в том числе и лиманного орошения;

- совершенствование инфраструктуры и инженерного обустройства сельских территорий.

Состав мелиоративных мероприятий и объемы их проведения приведен в таблице 3.

Таблица 3

#### Состав мелиоративных мероприятий и объемы их проведения

Мероприятия	Значения
Предупреждение и борьба с эрозией и дефляцией почв, млн га	10,9
в том числе:	
полевые защитные насаждения	0,8
агротехнические мероприятия	3,4
залужение пахотных земель с уклонами $> 5^{\circ}$	6,7
Регулирование кислотно-щелочного режима, млн га	7,4
Проведение химических мелиораций, кг/га	85
Реконструкция мелиоративных систем, тыс. га:	
орошение	124,5
осушение	814,1

Оценка эффективности мероприятий выполнена в соответствии с рекомендация-

ми [6, 7]. Результаты расчетов представлены в таблицах 4-6.

Таблица 4

#### Коммерческая экономическая эффективность реализации комплекса мелиоративных мероприятий, млн руб.

№ п/п	Показатели	Интегральные значения показателя с учетом дисконтирования
1	Инвестиции (внебюджетные)	36538
2	Прирост выручки от реализации продукции	458003
3	Прирост налога на добавленную стоимость (НДС)	41637
4	Прирост выручки от реализации продукции без НДС	416366
5	Суммарный прирост ежегодных издержек	366378
6	Амортизационные отчисления	21650
7	Финансовый итог	71638
8	Интегральная величина прироста чистого дисконтированного дохода	35100

Таблица 5

**Бюджетная эффективность реализации мероприятий, млн руб.**

№ п/п	Показатели	Интегральные значения показателя с учетом дисконтирования
1	Поступления в бюджеты всех уровней (притоки), в том числе:	5115620
2	налог на добавленную стоимость (НДС)	794594
3	Земельный налог	238376
4	Начисления на заработную плату (страховые взносы)	532372
5	Налог на доходы с физических лиц	262216
6	Величина мультипликатора в сельском хозяйстве	3271328
7	В виде налогов от строительных организаций	5398
8	Величина мультипликатора в строительстве	11336
9	Расходы бюджетов всех уровней (оттоки)	269538
10	Финансовый итог	4846083
11	Прирост интегрального дисконтированного потока бюджета	4846083

Таблица 6

**Общественная экономическая эффективность реализации мероприятий, млн руб.**

№ п/п	Показатели	Интегральные значения показателя с учетом дисконтирования
	Притоки	13164698
1	Экологический эффект (предотвращенный ущерб), всего	9514339
	в том числе:	
	за счет повышения биоразнообразия ландшафта, ценности экосистемных услуг и сокращения площади нарушенной экосистемы	8362373
	за счет снижения негативного воздействия на здоровье населения	1151966
2	Экономическая оценка трудовых ресурсов	3650359
	Оттоки	3100060
1	Остаточный ущерб, всего	3100060
	в том числе:	
	от использования сельскохозяйственных земель	2874156
	от снижения качества жизни населения	225904
3	Интегральная величина эффекта	10064638

Результаты расчетов свидетельствуют о высокой коммерческой, бюджетной и общественной эффективности проведения комплекса мелиоративных мероприятий. Кроме того, они указывают на целесообразность сокращения площади пахотных земель в рассматриваемом регионе в отличие от климатических прогнозов.

**Выводы**

1. В официальных правительственных документах в основном преобладают прогнозы, свидетельствующие о позитивном воздействии изменения климата на развитие сельского хозяйства России. В качестве подтверждения приводятся

предположения о росте площадей сельскохозяйственных земель за счет смещения природно-климатических зон в северном направлении и повышении урожайности сельскохозяйственных культур. Односторонний взгляд на важную проблему объясняется отсутствием системного подхода к оценке влияния изменения климата на развитие аграрного сектора, учитывающего в комплексе экологические и социально-экономические факторы.

2. Результаты анализа причин социально-экономического и экологического характера указывают на нецелесообразность экстенсивного пути развития сельского хозяйства в северной части нашей страны

в результате возможного изменения климата. С целью компенсации последствий изменения климата в агропромышленном комплексе необходима разработка новой модели развития сельского хозяйства, реализация которой будет направлена на решение таких задач, как смягчение последствий климатических изменений, поддержка уровня продовольственной и экологической безопасности страны и минимизация воздействия сельского хозяйства на климат. Решение этих вопросов возможно за счет оптимизации структуры сельскохозяйственных угодий, широкого развития комплексных мелиораций и прогрессивных технологий (в комплексе).

3. Обобщение имеющихся материалов и численные эксперименты, выполненные с использованием разработанных моделей и критериев, позволили разработать и обосновать комплекс мероприятий по снижению антропогенной нагрузки на природный ландшафт, увеличению биоразнообразия и повышению экономической эффективности сельскохозяйственного производства в Центральном федеральном округе (лесная зона), включающий в себя сокращение площади пашни на 6,7 млн га и перевод ее в полуприродные ландшафты путем залужения; восстановление нарушенных полезных насаждений (лесных полос) на площади 0,8 млн га; увеличение продуктивности сельскохозяйственных земель, включая орошаемые и осушаемые земли, за счет совершенствования системы земледелия, предупреждения и ликвидации последствий деградационных процессов (эрозия, дефляция, засоление, осолонцевание, сработка запасов гумуса) на площади 10,9 млн га; регулирование кислотно-щелочного и питательного режимов почв сельскохозяйственных угодий на площади 7,4 млн га; проведение реконструкции мелиоративных систем на площади 938,6 тыс. га (оросительные системы – 124,5 тыс. га, осушительные системы – 814,1 тыс. га) и совершенствование инфраструктуры и инженерного обустройства сельских территорий.

4. Реализация обоснованного комплекса мелиоративных мероприятий в лесной зоне Центрального федерального округа будет способствовать эффективному использованию природных ресурсов, сохранению и увеличению природного капитала, уменьшению загрязнения водных объектов, снижению углеродных выбросов (ограничению

эмиссии парниковых газов), предотвращению утраты экосистемных услуг и биоразнообразия, повышению экологической устойчивости культурных (агрландшафтов) и природных ландшафтов, и в конечном итоге – устойчивому развитию сельского хозяйства.

### Библиографический список

1. Национальный доклад по проблемам изменения климата. М.: Минэкономразвития России, 2002. 31 с.

2. Бобылев С.Н. Политика двойного выигрыша: климатические изменения в области землепользования [Электронный ресурс] <https://refdb.ru/look/2267143-pall.html> доступ свободный. [Электронный ресурс] <http://www.agromet.ru/index.php?id=77> доступ свободный.

3. Будыко М.И. Глобальная экология. М.: Мысль, 1977. 328 с.

4. Айдаров И.П. Экологические основы мелиорации земель. М.: МГУП, 2012. 177 с.

5. Айдаров И.П., Голованов А.И., Краснощеков В.Н. и др. Перспективы развития мелиорации земель в России. М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2011. 54 с.

6. Краснощеков В.Н., Ольгаренко Д.Г. Методика оценки экономической эффективности мероприятий по реконструкции мелиоративных систем с учетом технического состояния гидромелиоративных объектов, вероятностного характера изменения природно-климатических условий, хозяйственных, экологических и социальных условий функционирования, мелиорируемых агроландшафтов, экологической ценности природных экосистем, степени эрозии, структуры природных ландшафтов и ущерба здоровью человека. Коломна: ФГБНУ ВНИИ «Радуга», 2015. 108 с.

7. Краснощеков В.Н., Ольгаренко Г.В., Ольгаренко Д.Г. Методические рекомендации по оценке эколого-экономической эффективности инвестиционных проектов мелиорации земель сельскохозяйственного назначения: Науч. издание. Коломна: ИП Воробьев О.М., 2016. 100 с.

Материал поступил в редакцию 27.01.2017 г.

### Сведения об авторах

**Краснощеков Валентин Николаевич**, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление природопользованием и охрана окружа-

ющей среды» Института государственной службы и управления, 119606, Москва, Проспект Вернадского, 84; тел.: 8(499)956-08-25; e-mail: krasnoshekov@mail.ru.

**Ольгаренко Денис Геннадьевич**, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Управление водохозяйственной деятельностью и природопользованием», ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева;

127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44; тел.: +7-964-530-49-10; e-mail: olgarenko@mail.ru

**Рожкова Ольга Николаевна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика», ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44; тел.: 8-495-153-82-11

#### V.N. KRASNOSHCHIEKOV

Federal state budget educational institution of higher education «Russian academy of national economy and state service under the President of the Russian Federation», Institute of state service and management, Moscow, Russian Federation

#### D.G. OLGARENKO, O.N. ROZHKOVA

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

## CLIMATE CHANGE AND AGRICULTURE OF RUSSIA: PROBLEMS AND SOLUTIONS

*The article shows that the absence of a systematic approach to assessment of the influence of climate changing on development of agriculture (without joint accounting of ecological, economic and social factors) often leads to bias conclusions. The inexpediency of the extensive way of agricultural development in the Northern part of our country is substantiated as a result of a possible change of the climate. There is proposed a mechanism of consequences softening of climatic changes, maintenance of the level of food and ecological safety of the country and minimization of the influence of agriculture on the climate providing the optimization of the structure of agricultural lands, wide development of integrated reclamations and advanced technologies in the complex. Realization of the proposed softening mechanism of consequences of climatic changes for agriculture will favor an effective use of natural resources, preservation and increase of the natural capital, decrease of contamination of water objects, reduction of carbonaceous emissions (limitation of emissions of hothouse gases), prevention of losses of ecosystemic services and biodiversity, increase of the ecological stability of cultural (agro landscapes) and natural landscapes and, finally, steady development of agriculture.*

*Change of climate, agriculture, soils degradation, complex reclamations, policy of «double winning», efficiency.*

### References

1. Natsionalny doklad po problemam izmeneniya klimata. M.: Mineconomrazvitiya Rossii, 2002. 31 s.
2. Bobylev S.N. Politika dvojnogo vyigrysha: klimaticheskie izmeneniya v oblasti zemlepolzovaniya [Electronny resurs] <https://refdb.ru/look/2267143-pall.html> [dostup svobodny] <http://www.agromet.ru/index.php?id=77> dostup svobodny.
3. Budyko M.I. Globalnaya ekologiya. M.: Mysl, 1977. 328 s.
4. Aidarov I.P. Ecologicheskie osnovy melioratsii zemel. M.: MGUP, 2012. 177 s.
5. Aidarov I.P., Golovanov A.I., Krasnoshekov V.N. and others. Perspektivy razvitiya melioratsii zemel v Rossii. M.: FGOU VPO MGUP, 2011. 54 s.
6. Krasnoshekov V.N., Olgarenko D.G. Metodika otsenki ekonomicheskoy effektivnosti

meropriyatij po reconstructsii meliorativnyh system s uchetom tehniceskogo sostoyaniya hydromeliorativnyh objektov, veroyatnostnogo haraktera izmeneniya prirodno-klimaticheskikh uslovij, hozyajstvennyh, ecologicheskikh i sotsialnyh uslovij funkcionirovaniya, melioriruemym agrolandshaftov, ecologicheskoy tsennosti prirodnyh ecosystem, stepeni erozii, struktury prirodnyh landshaftov i ushcherba zdorov'yu cheloveka. Kolomna: FGBNU VNII «Raduga», 2015. 108 s.

7. Krasnoshekov V.N., Olgarenko G.V., Olgarenko D.G. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke ecologo-ekonomicheskoy effektivnosti investitsionnyh proektov melioratsii zemel sel'skohozyaistvennogo naznacheniya: Nauch. izdanie. Kolomna: IP Vorobjev O.M., 2016. 100 s.

The material was received at the editorial office  
27.01.2017

**Information about the authors**

**Krasnoshchekov Valentin Nikolaevich**, doctor of economic sciences, professor, head of the chair «Management of nature use and environmental protection» of the Institute of government service and management, 119606, Moscow, Prospect Vernadskogo, 84; tel.: 8(499)956-08-25; e-mail: krasnoshekov@mail.ru.

**Olgarenko Denis Gennadjevich**, candidate of economic sciences, associate professor of the chair «Management of water eco-

nomical activity and nature use», FGBOU VO RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Boljshaya Academicheskaya, 44; tel.: +7-964-530-49-10; e-mail: olgarenko@mail.ru

**Rozhkova Olga Nikolaevna**, candidate of economic sciences, associate professor of the chair «Economics», FGBOU VO RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Boljshaya Academicheskaya, 44; tel.: 8-495-153-82-11

УДК 502/504:631.8:633.11

**А.А. МНАТСАКАНЯН, Г.В. ЧУВАРЛЕЕВА, Г.М. ЛЕСОВАЯ, П.П. ВАСЮКОВ**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. П.П. Лукьяненко», г. Краснодар, Российская Федерация

## **РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА И МИКРОБИОУДОБРЕНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

*Цель исследований — научное обоснование применения регуляторов роста — оценка их влияния на рост и развитие растений, на урожайность, на экономическое обоснование применения препаратов. Впервые в почвенно-климатических условиях Северной зоны Краснодарского края дана сравнительная оценка эффективности применения регуляторов роста Вигор Форте, Эдагум СМ и микробиудобрения МЭРС марки Б в технологии возделывания озимой пшеницы. Выявлены особенности роста и развития озимой пшеницы сортов Гром и Лебедь при обработке исследуемыми препаратами. Проводилась обработка семян и некорневая обработка растений препаратами в производственных опытах. Исследования показали эффективность действия регуляторов роста и микробиудобрения на корневую систему озимой пшеницы в осенне-весенний период, увеличив их длину до 28%, массу на 53% в сравнении с контролем. Так, густота продуктивного стеблестоя изменялась в зависимости от вариантов исследования от 619 до 658 шт./м<sup>2</sup> на сорте Гром и 618-668 шт./м<sup>2</sup> на сорте Лебедь. Применение в технологии возделывания озимой пшеницы регуляторов роста и микробиудобрения положительно влияет на крупность зерна и на ее урожайность. Так, на сорте Гром урожайность озимой пшеницы возросла от 65,6 ц/га на контроле до 71,2 ц/га на варианте с применением регулятора роста Вигор Форте. Расчет экономической эффективности применения исследуемых препаратов показал высокую рентабельность их использования в производстве, увеличив чистый доход от 2000 до 3000 руб. в сравнении с контролем.*

*Озимая пшеница, микробиудобрения, химический и биологический регулятор роста, структура урожая, урожайность, экономическая эффективность, чистый доход, рентабельность.*

**Введение.** Озимая пшеница — высокоурожайная и ценнейшая продовольственная культура, возделываемая в большинстве регионов Российской Федерации. В Краснодарском крае площадь, занимаемая озимой пшеницей, составляет 1,35 млн га при урожайности 5,3 т/га в 2015 г.

Для сохранения и повышения урожайности культур в критических условиях возделывания необходимо применять ре-

гуляторы роста и микробиудобрения, которые оказывают направленное влияние на растительный организм с целью мобилизации генетических возможностей культуры. Обработка в небольших количествах является эффективным приемом стимулирования ростовых процессов и защиты растений от абиотических стрессов. К настоящему времени синтезированы сотни агрохимикатов различной химической природы,

обладающие широким спектром действия на культурные растения [1, 2, 4].

Применение регуляторов роста растений и водорастворимых микробиодобрований – сравнительно новое направление в агрономической практике, и требуется конкретизация способов их использования с учетом биологических особенностей озимой пшеницы и почвенного потенциала местности.

Вопрос повышения урожайности озимой пшеницы путем применения экологически безопасных средств является чрезвычайно важным для сельского хозяйства, что подтверждает актуальность исследований, изложенных в работе. Целью этих исследований является научное обоснование применения регуляторов роста и водорастворимого микробиодобрования как элемента технологии при возделывании озимой пшеницы, а именно оценка их влияния на рост и развитие растений, на урожайность, а также экономическое обоснование применения препаратов.

**Материал и методы. Исследования проводились на экспериментальной базе Краснодарского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. П.П. Лукьяненко (ФГУП им. Калинина) Павловского района, расположенного в северо-степной части Краснодарского края.** Проведенные исследования позволяют рекомендовать производству применение в технологии возделывания озимой пшеницы регуляторов роста и водорастворимого микробиодобрования, которые способствуют получению высокого, экономически обоснованного урожая озимой пшеницы.

Почвенный покров северной зоны края представлен черноземом обыкновенным, морфологической особенностью которого является значительная мощность (60-80 см), хорошая макро- и микроагрегатированность гумусовых горизонтов, сильная биогенная проработка профиля. Механический состав – тяжелосуглинистый, реже глинистый. В слое 0-30 см содержится 4,0-4,5% гумуса, азота 5,1-7,8%; фосфора 4,6-5,8%; калия 49 т/га. Содержание доступных растениям форм калия высокое, азота и фосфора – низкое. При возделывании сельскохозяйственных культур на данном типе почв необходимо вносить азотные и фосфорные удобрения [3, 7].

Схема опыта включала в себя два следующих фактора.

Фактор А, сорт озимой пшеницы:

I – Гром; II – Лебедь.

Фактор Б, препарат:

1 – контроль (без обработки препаратами);

2 – Вигор Форте (предпосевная обработка 25 г/т семян + обработка в фазу «Кущение-выход в трубку» 25 г/га);

3 – МЭРС марки Б (предпосевная обработка 400 мл/т семян + обработка в фазу «Кущение-выход в трубку» 400 мл/га);

4 – Эдагум СМ (предпосевная обработка 300 мл/т семян + обработка в фазу «Кущение-выход в трубку» 400 мл/га).

Посев озимой пшеницы проводился по предшественнику «Подсолнечник». Общая площадь поля – 141 га. Площадь исследуемых вариантов – 14,9 га. Повторность в опыте 3-кратная. Высевались сорта озимой пшеницы Гром и Лебедь селекции КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко [6]. Агротехника – общепринятая для возделывания сельскохозяйственных культур в северной зоне Краснодарского края.

**Результаты и обсуждение.** Рассмотрим, как предпосевная обработка семян микробиодоброванием и регуляторами роста сказалась на росте и развитии корней озимой пшеницы сорта Гром и Лебедь.

Проведенные исследования показали, что растения на контроле имели длину корней в фазу «Осеннее кущение» 13 см. При обработке семян препаратом Вигор Форте их длина увеличилась: сорт Гром – на 15,2%, сорт Лебедь – на 21,4%. На варианте с применением микробиодобрования МЭРС марки Б длина увеличилась в среднем по сортам на 19%. Предпосевная обработка семян регулятором роста Эдагум СМ в меньшей степени повлияла на рост данного показателя в фазу «Осеннее кущение», и в сравнении с контролем корни прибавили в длине 0,8 см на сорте Гром и 0,7 см на сорте Лебедь.

Обработка семян препаратами также благотворно повлияла на массу корней. Так, воздушно-сухая масса корней 25 растений при применении химического регулятора роста Вигор Форте составила 2,35 и 2,40 г, что на 0,65 и 0,71 г выше, чем на контроле. При обработке семян препаратом МЭРС марки Б воздушно-сухая масса корней увеличилась на 1,03 и 1,0 г по сравнению с контролем в зависимости от сорта. Препарат Эдагум СМ увеличил массу корней в среднем по сортам на 0,4 г. Тенденция развития корневой си-

стемы озимой пшеницы сохранилась в фазу весеннего кущения. Обработка семян исследуемыми препаратами перед посевом в первую очередь повлияла на развитие корневой системы, что дало положительный эффект в росте и развитии растений в целом.

Данные производственных испытаний по изучению влияния регуляторов роста и микробиоудобрения на площадь ассимиляционного аппарата растений озимой пшеницы сорта Гром и Лебедь показали, что применение препаратов положительно влияет на развитие ассимиляционного аппарата в фазу весеннего кущения. На сорте Гром увеличение составило до 23%, на сорте Лебедь – до 16%. Пик роста площади листьев озимой пшеницы отмечен в конце фазы выхода в трубку. При применении биологического регулятора роста Эдагум СМ полученная максимальная площадь листьев, которая была выше контроля в среднем по сортам на 45%, составив 50,8 тыс. м<sup>2</sup>/га на сорте Гром и 52,7 тыс. м<sup>2</sup>/га и на сорте Лебедь. При применении химического регулятора роста Вигор Форте ассимиляционная поверхность составила на сорте Гром 47,8 тыс. м<sup>2</sup>/га, а на сорте Лебедь – 49,8 тыс. м<sup>2</sup>/га, что превышает контроль на 35%. Обработка препаратом МЭРС марки Б увеличила площадь листьев на 9 тыс. м<sup>2</sup>/га по срав-

нению с контролем. Наибольшая площадь листьев в фазу «Колошение» наблюдалась на варианте с применением биологического регулятора роста Эдагум СМ и химического регулятора роста Вигор Форте. В фазу молочной спелости площадь листьев на сорте Гром варьировала от 2,9 тыс. м<sup>2</sup>/га на контроле до 4,1 тыс. м<sup>2</sup>/га на варианте при применении препарата Вигор Форте; на сорте Лебедь – от 2,6 тыс. м<sup>2</sup>/га на контроле до 4,0 тыс. м<sup>2</sup>/га на варианте при применении препарата Эдагум СМ. Существенной разницы между исследуемыми препаратами не наблюдалось.

Анализируя полученные данные, отметим, что применение водорастворимых микробиоудобрений и регуляторов роста положительно влияет на формирование элементов структуры урожая (табл. 1).

На варианте без применения препаратов густота продуктивного стеблестоя составила 619 шт/м<sup>2</sup> на сорте Гром и 618 шт/м<sup>2</sup> на сорте Лебедь. Применение препаратов на сорте Гром увеличило количество продуктивных стеблей от 27 до 39 шт/м<sup>2</sup>, на сорте Лебедь – от 35 до 50 шт/м<sup>2</sup>.

Таким образом, применение исследуемых препаратов на озимой пшенице существенно повышает густоту продуктивного стеблестоя.

Таблица 1

### Влияние изучаемых факторов на формирование элементов структуры урожая и урожайность

Вариант		Продуктивный стеблестой, шт/м <sup>2</sup>	Количество колосков в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, ц/га		
					2014	2015	среднее
Гром	Контроль	619	14,2	38,3	63,7	67,5	65,6
	Вигор Форте	653	15,3	43,0	69,2	73,2	71,2
	МЭРС марки Б	646	14,8	42,2	68,1	70,1	69,1
	Эдагум СМ	658	14,7	42,4	68,2	71,2	69,7
Лебедь	Контроль	618	13,9	40,4	62,8	65,8	64,3
	Вигор Форте	668	15,0	44,6	67,9	72,3	70,1
	МЭРС марки Б	654	14,5	43,0	68,0	70,6	69,3
	Эдагум СМ	653	14,5	43,9	67,9	70,5	69,2
НСР <sub>0,05част.</sub>		22,1	0,5	1,5			2,36

Исследования показали зависимость продуктивности колоса от изучаемых факторов. При применении биологических препаратов Эдагум СМ и МЭРС марки Б количество колосков увеличилось на сорте Гром и Лебедь на 0,5-0,6 шт., или на 5,2-5,3%. Использование в технологии возделывания химического регулятора роста Вигор

Форте увеличило этот показатель в среднем по сортам на 7,8%. Одним из показателей крупности и выполненности семян озимой пшеницы является масса 1000 зерен. Данный признак зависит не только от сорта, но и от условий возделывания. Более крупное зерно формирует сорт Лебедь (41-44 г), в то время как сорт Гром – 40-42 г. На ва-

риантах с применением биологических препаратов масса 1000 зерен возросла на 4,0 г на сорте Гром и от 3,0 до 3,5 г на сорте Лебедь. Применение химического регулятора роста Вигор Форте увеличило данный показатель в среднем по сортам на 12%.

Основным критерием оценки технологических приемов возделывания культуры является урожайность. Применение изучаемых водорастворимых микробиодобрений и регуляторов роста в технологии возделывания озимой пшеницы положительно повлияло на развитие корневой системы, способствовало развитию вегетативных и генеративных органов. Это обусловлено тем, что препараты содержат комплекс микроэлементов в легкоусваиваемой для растений форме, что уже при обработке семян положительно

влияет на развитие растений и урожайность. Применение исследуемых препаратов позволило увеличить урожайность на сорте Гром на 5,3-8,4%, на сорте Лебедь – от 7,8-9,3%. При обработке озимой пшеницы препаратом Вигор Форте получена наибольшая прибавка урожайности – 5,6-5,8 ц/га. Разницы по урожайности между исследуемыми препаратами не наблюдалась, полученные данные находились в пределах ошибки опыта.

Эффективность – сложная многоплановая экономическая категория, связанная с многообразием результатов производства (валовая продукция, производственные затраты и чистый доход) и воздействующих на нее факторов [5]. Экономическую эффективность применения регуляторов роста и микробиодобрения рассмотрим на сорте Гром (табл. 2)

Таблица 2

**Экономическая эффективность применения регуляторов роста и микробиодобрения на посевах озимой пшеницы, 2014-2015 сельскохозяйственный год, сорт Гром**

Показатель	Контроль	Исследуемые препараты		
		Вигор Форте	МЭРС марки Б	Эдагум СМ
Урожайность, га, ц	65,6	71,2	69,1	69,7
Прибавка урожая с 1 га, ц	-	5,6	3,5	4,1
Цена реализации зерна за 1 ц, руб.	800	800	800	800
Стоимость продукции с 1 га, руб.	52480	56960	55280	55760
Производственные затраты на 1 га, руб.,	36080	37024	36761	35686
в т.ч. дополнительные затраты на внесение регуляторов роста и уборку дополнительного урожая на 1 га, руб.;	-	840	1687	287
себестоимость 1 ц, руб.;	550	520	532	512
чистый доход с 1 га, руб.;	16400	19936	18519	20074
рентабельность, %	45,5	53,8	50,4	56,3

Проведенные полевые исследования показали, что применение химического регулятора роста Вигор Форте способствовало повышению урожайности зерна озимой пшеницы на 5,6 ц/га; биологического регулятора роста Эдагум СМ – на 4,1 ц/га, микробиодобрения МЭРС марки Б – на 3,5 ц/га. В результате производственные затраты возросли соответственно на 840 руб. (Вигор Форте), 287 руб. (Эдагум СМ) и 1687 (МЭРС марки Б) руб. на га. Себестоимость 1 ц зерна снизилась на 18-38 руб. Это указывает на то, что темпы роста стоимости продукции были выше, чем производственные затраты. В результате чистый доход с 1 га при применении химического регулятора роста Вигор Форте составил 19936 руб. с 1 га посева, при применении микробиодобрения МЭРС

марки Б – 18519 руб., биологического регулятора Эдагум СМ – 20174 руб/га.

Таким образом, применение регуляторов роста и микробиодобрения в технологии возделывания озимой пшеницы является экономически выгодным.

**Выводы**

1. Предпосевная обработка семян озимой пшеницы исследуемыми препаратами (Вигор Форте в дозе 25 г/т семян, МЭРС марки Б – 400 мл/т семян, Эдагум СМ – 300 мл/т семян) стимулирует физиологические процессы в семени, и в первую очередь это проявляется на образовании дополнительных корешков и утолщении стенок корней. В результате образуется мощная корневая система, которая лучше усваивает и накапли-

вает питательные элементы из почвы, что положительно влияет на рост и развитие растений в целом.

2. Некорневая обработка озимой пшеницы регуляторами роста Вигор Форте (в дозе 25 г/га) и Эдагум СМ (в дозе 400 мл/га) и микробиодобриением МЭРС марки Б (в дозе 400 мл/га) способствует активизации ростовых и физиологических процессов, что в конечном итоге влияет на формирование основных элементов структуры урожая и урожайность озимой пшеницы.

3. Проведенными исследованиями установлено, что применение регуляторов роста и микробиодобриения в технологии возделывания озимой пшеницы является экономически выгодным и способствует получению дополнительной прибыли.

#### Библиографический список

1. Анспок П.И. Совершенствование способов применения микроэлементов в растениеводстве / П.И. Анспок // Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине: Тез. докл. XI Всесоюз. конф. Самарканд, 1990. 272 с.

2. Безуглова О.С. Удобрения и стимуляторы роста / О.С. Безуглова. Ростов-на-Дону: «Феникс», 2000. 320 с.

3. Кузнецов В.В. Физиология растений: Учебник / В.В. Кузнецов, Г.А. Дмитриева. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2006. 742 с.: ил.

4. Блажний Е.С. Почвы равнинной и предгорностепной части Краснодарского края / Е.С. Блажний // Тр. КСХИ. Вып. 4 (32). Т. 58. Краснодар. С. 14-16.

5. Черноземы СССР (Предкавказья и Кавказа). М.: Агропромиздат, 1985. 264 с.

6. Сорты и гибриды ГНУ Краснодарского НИИСХ Россельхозакадемии / РАСХН, КНИИСХ. Краснодар: «ЭДВИ», 2014. 124 с.

7. Методические указания по организационно-экономическому обоснованию результатов научных исследований в дипломных работах / Под ред. Н.И. Дворяджина. Краснодар, 2009. 36 с.

8. Шакирова Ф.М. Регуляторы роста в адаптивной стратегии растениеводства / Ф.М. Шакирова. Уфа: Гилем, 2009. 124 с.

Материал поступил в редакцию 18.01.2017 г.

#### Сведения об авторах

**Мнатсаканян Арсен Аркадьевич**, младший научный сотрудник агротехнологического отдела, КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко, 350012, г. Краснодар, Центральная усадьба КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко; тел.: 8(861) 222-67-47, e-mail: newagrotech2015@mail.ru

**Чуварлеева Галина Владимировна**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник агротехнологического отдела, зам. заведующего отделом, КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко; 350012, г. Краснодар, Центральная усадьба КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко; тел., факс: 8(861) 222-69-89, e-mail: newagrotech2015@mail.ru

**Лесовая Галина Михайловна**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник агротехнологического отдела, КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко; 350012, г. Краснодар, Центральная усадьба КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко; тел.: 8(861) 222-67-47, e-mail: newagrotech2015@mail.ru

**Васюков Павел Петрович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, руководитель технологического центра, руководитель агротехнологического отдела, КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко; 350012, г. Краснодар, Центральная усадьба КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко, тел., факс: 8(861) 222-69-89, e-mail: newagrotech2015@mail.ru

**A.A. MNATSAKANYAN, G.V. CHUVARLEEVA, G.M. LESOVAYA, P.P. VASIUKOV**

Federal state budget scientific institution KSRIA named after P.P. Lukyanenko, Krasnodar city, Russia

## GROWTH REGULATORS AND MICROBIOFERTILIZERS AS AN ELEMENT OF WINTER WHEAT CULTIVATION TECHNOLOGY

*The purpose of the research is a scientific substantiation of usage of growth regulators – assessment of their influence on growth and development of plants, productivity, economic feasibility of usage of preparations. For the first time in the soil and climatic conditions of the northern zone of the Krasnodar region there is given a comparative assessment of the effectiveness of usage of growth regulators Vigor Forte, Edagum SM and a water-soluble microbiofertilizer MERS, B grade in the technology of winter wheat cultivation. The features of growth and development of winter wheat Grom (Thunder) and Lebed (Swan) when treated with the studied preparations were revealed. Treatment of seeds and non-root plants with*

preparations were fulfilled during production tests. Our investigations showed the effectiveness of growth regulators and microbiofertilizer on the root system of winter wheat in the autumn and spring period increasing of their duration up to 28%, weight up to 53% in comparison with the control. So, the density of productive stalks varies depending on the study options from 619 to 658 pcs/m<sup>2</sup> for the kind – Grom and 618-668 pcs/m<sup>2</sup> for kind – Lebed. The preparations applied in the experiments had a positive impact on the size of the winter wheat grain and its yield. Thus, productivity on the winter wheat grade Grom increased from 65.6 centners/ha on the control up to 71.2 centners/ha in the variant with growth regulator Vigor Forte. Calculation of the economic efficiency of usage of the investigated preparations showed a high profitability of their use in production. It increased the net profit from 2000 to 3000 rubles in comparison with the control.

*Winter wheat, mikrobiofertilizer, chemical and biological regulator of growth, structure of yield, productivity, yield, economic efficiency, net income, profitability.*

### References

1. Anspok P.I. Sovershenstvovanie sposobov primeneniya mikroelementov v rasstnievodstve / P.I. Anspok // Mikroelementy v biologii i ih primenenie v seljskom hozyastve i meditsine: Tez. dokl. XI Vsesoyuz. conf. Camarkand, 1990. 272 s.
2. Bezuglova O.S. Udobreniya i stimulyatory rosta / O.S. Bezuglova. Rostov-na-Donu: «Feniks», 2000. 320 s.
3. Kuznetsov V.V. Fiziologiya rastenij: Uchebnik / V.V. Kuznetsov, G.A. Dmitrieva. Izd. 2-e, pererab. i dop. M.: Vyssh. shk., 2006. 742 s.: il.
4. Blazhnij E.S. Pochvy ravninnoj i predgornostepnoj chasti Krasnodarskogo kraja / E.S. Blazhnij // Tr. KSHI. Vyp. 4 (32). T. 58. Krasnodar. S. 14-16.
5. Chernozemy SSSR (Predkavkazja i Kavkaza). M.: Agropromizdat, 1985. 264 s.
6. Sorta i hybrid GNU Krasnodarskogo NIISH Rossel'hozacademii / RASHN, KNIISH. Krasnodar: «EDVI», 2014. 124 s.
7. Metodicheskie ukazaniya po organizatsionno-ekonomicheskomu obosnovaniyu rezul'tatov nauchnyh issledovanij v diplomnyh rabotah / Pod red. N.I. Dvoryadkina. Krasnodar, 2009. 36 s.
8. Shakirova F.M. Regulyatory rosta v adaptivnoj strategii rastenievodstva / F.M. Shakirova. Ufa: Gilem, 2009. 124 s.

The material was received at the editorial office  
18.01.2017

### Information about the authors

**Mnatsakanyan Arsen Arcadjevich**, junior researcher of the agrotechnological department, KNIISH named after P.P. Lukjyanenko, 350012, Krasnodar, Central usadjba KNIISH named after P.P. Lukjyanenko; tel.: 8(861) 222-67-47, e-mail: newagrotech2015@mail.ru

**Chubarleeva Galina Vladimirovna**, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the agrotechnological department, KNIISH named after P.P. Lukjyanenko, 350012, Krasnodar, Central usadjba KNIISH named after P.P. Lukjyanenko; tel.: 8(861) 222-69-89, e-mail: newagrotech2015@mail.ru

**Lesovaya Galina Mikhailovna**, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the agrotechnological department, KNIISH named after P.P. Lukjyanenko, 350012, Krasnodar, Central usadjba KNIISH named after P.P. Lukjyanenko; tel.: 8(861) 222-67-47, e-mail: newagrotech2015@mail.ru

**Vasyukov Pavel Petrovich**, doctor of agricultural sciences, professor, head of the technological center, KNIISH named after P.P. Lukjyanenko, 350012, Krasnodar, Central usadjba KNIISH named after P.P. Lukjyanenko; tel., fax: 8(861) 222-69-89, e-mail: newagrotech2015@mail.ru

УДК 502/504:633.521: 631.62

**И.В. УЩАПОВСКИЙ**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства» (ФГБНУ ВНИИМЛ) г. Тверь, Российская Федерация

**Л.И. ПЕТРОВА, Е.М. КОРНЕЕВА**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель» (ФГБНУ ВНИИМЗ), г. Тверь, Российская Федерация

**С.Л. БЕЛОПУХОВ**

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

**ИЗУЧЕНИЕ СРОКОВ ПОСЕВА ЛЬНА-ДОЛГУНЦА  
В УСЛОВИЯХ ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ**

*Лен-долгунец чувствителен к влагообеспеченности и резко снижает урожайность в засушливые годы. Увеличивающаяся амплитуда изменений климатических условий в течение вегетационного периода в зонах льносеяния приводит к значительным различиям в урожайности при разных сроках посева. Целью исследования была оценка реакции льна на сроки посева в условиях осушаемых земель. Временной интервал между ранним и поздним сроками сева составил 15-20 дней. Результаты двухлетних полевых исследований сорта Ленок выявили значительные различия в урожайности по семенам и соломе в условиях раннего и позднего посева. Кроме основных элементов структуры урожая, оценивали фитосанитарное состояние посевов. Установлено, что климатические условия в пределах одного вегетационного сезона (одного года исследований) при разных сроках посева могут влиять на хозяйственно-ценные признаки более значимо, чем условия одного срока в разные годы испытаний. Ранний срок посева характеризовался лучшими показателями основных морфологических признаков, в частности, технической длиной, количеством коробочек на одном растении и в конечном счете – урожаем семян и соломы в оба года исследований. Анализ значений гидротермического коэффициента (ГТК) в течение вегетации и параметров продуктивности указывает, что осушаемые земли могут быть использованы как элемент селекционных технологий, моделирующий эдафический фон при оценке материала и изучении реализации его сортового потенциала.*

*Лен-долгунец, сроки посева, урожайность, осушаемые земли, гидротермический коэффициент*

**Введение.** Основным направлением в повышении эффективности растениеводства в Нечерноземной зоне является его интенсификация на основе максимального использования биологических, экологических, технологических и других факторов производства продукции сельскохозяйственных культур [1]. Льноводство является одной из традиционных отраслей сельскохозяйственного производства Нечерноземья. Повышение урожайности льна-долгунца в производственных условиях до уровня сортового потенциала связано с интенсификацией сельского хозяйства, а также с поиском новых технологических приемов и технических средств для льноводства [2].

Одним из подходов, предполагающих более эффективное использование экологических факторов за счет выявления благоприятных условий для роста и развития растений, формирования качественного

урожая, является использование различных сроков сева. На основе многолетних исследований по изучению эффективности различных сроков посева льна-долгунца было выявлено, что в большинстве случаев ранний срок (при суточном прогреве почвы до температуры 8°C) позволяет формировать стеблестой, более устойчивый к полеганию и болезням, рано созревающий [3]. Это позволяет более рационально использовать вегетационный сезон, в оптимальные сроки провести уборочные и послеуборочные работы, получить продукцию более высокого качества. Однако в зависимости от погодных условий ранний срок не всегда может гарантировать высокие показатели урожайности [4].

Лен-долгунец относится к влаголюбивым культурам, однако снижает урожайность в условиях не только засухи, но и избытка влаги (близкие грунтовые воды, ин-

тенсивные/или длительные осадки). Избыточное увлажнение, особенно на глеевых почвах льносеющих регионов, оказывает негативное влияние на их водно-воздушный, тепловой и питательный режимы, что негативно сказывается на росте и развитии растений льна. Лучшие показатели достигаются при влажности почвы в пределах 50-70% полевой влагоемкости [5, 6]. Мелиорированные земли позволяют освобождаться от избытка влаги, что широко используется для возделывания многих культур, в том числе и льна [7].

Целью данного исследования было изучение влияния различных сроков посева льна-долгунца на формирование урожая в условиях осушаемых земель.

**Материал и методы.** Исследования проводились в 2011-2012 гг. на экспериментальном участке поля ФГБНУ ВНИИМЗ (п. Эммаус, Калининский р-н, Тверская обл.), осушаемом закрытым дренажом (междренное расстояние – 20 м, глубина заложения дрен – 0,9-1,2 м). Почва на участке дерново-подзолистая легкосуглинистая слабокислая ( $pH_{\text{сол.}}$  5,2-5,5) с высоким содержанием фосфора ( $P_2O_5$  – от 289 до 396 мг/кг), повышенным калия ( $K_2O$  – от 121 до 145 мг/кг), очень низким азота ( $N$  – 15,3 мг/кг) и гумуса (1,56-1,94%).

В работе изучался районированный в Тверской области сорт льна-долгунца Ленок (среднеспелый, высокоурожайный по льноволокну (1,9 т/га) и урожайный по льносеменам (0,76 т/га), высоковолокнистый (содержание волокна – 32,4%), устойчивый к полеганию и патогенам: ржавчине и фузариозу).

Обработка почвы опытного участка состояла из зяблевой вспашки, ранневесеннего боронования зяби и двух культиваций с боронованием. Предпосевная культивация проводилась комбинированным агрегатом КБМ-4,2Н, под которую была внесена азотфоска в дозе 0,2 т/га. Посев проведен семенами 1 класса сеялкой СЛН-1,6 с междурядьем 7,5 см. Норма высева составила 30,0 млн всхожих семян/га, предшественник – яровая пшеница. Сроки высева в 2011 г.: ранний – 13 мая, поздний – 26 мая; в 2012 г.: ранний – 15 мая, поздний – 4 июня.

В фазу «Елочка» была проведена химпрополка посевов баковой смесью препаратов: «Агритокс» и «Секатор Турбо» (1 л + 50 г/га) опрыскивателем ОП-2000 с расходом рабочей жидкости 300 л/га.

Необходимые наблюдения и исследования в опытах выполнялись согласно методикам по проведению полевых опытов со льном-долгунцом [8,9].

Климатические условия в годы проведения исследований различались. 2011 г. – в течение вегетации теплый и по влажности близкий к норме (ГТК – 1,45) год, но с неравномерным выпадением осадков в течение сезона, сухой во 2 и 3 декадах мая и июля. Влажность пахотного слоя почвы в течение вегетации колебалась от 25 до 69% ППВ (в среднем 57%), порозность аэрации – от 29 до 43% объема почвы (в среднем 34%). Агрометеорологические условия 2011 г. в период посева обоих сроков характеризовались в основном теплой и сухой погодой. Условия для появления всходов были удовлетворительными.

2012 г. – теплый и влажный, выше нормы в 1,2 и 1,6 раза соответственно (ГТК – 2,50). Наблюдалось периодическое переувлажнение пахотного слоя почвы на участке под посевом на уровне 73-116% ППВ (в среднем 90%). Это подтверждают данные порозности аэрации почвы, которая в течение вегетации изменялась от 9 до 25% (в среднем 19%) объема почвы.

Для хорошего обеспечения растений водой и воздухом соотношение капиллярной и некапиллярной порозности в увлажненных районах на дерново-подзолистых почвах должно составлять 1:1 [10]. Общая пористость пахотного слоя почвы и объемная масса в эти годы были на уровне оптимальных значений соответственно составляли 52-53% объема почвы и 1,27-1,32 г/см<sup>3</sup>. Агрометеорологические условия 2012 г. в период посева обоих сроков характеризовались в основном теплой (превышающей норму в мае на 1,6°C, в июне – на 1,8) и дождливой погодой (количество осадков в мае превышало норму в 1,4 раза, в июне – в 2,3 раза). Условия для появления всходов были удовлетворительными.

**Результаты и обсуждение.** Срок сева, как элемент во многих технологиях возделывания льна, определяет не только эффективность прорастания семян и появления всходов, но и условия для прохождения фаз роста растения, формирования волокна и семян, а также влияет на реализацию сортового потенциала. Проведенный эксперимент на осушаемых землях показал, что ранний срок посева льна в течение двух лет испытаний характеризовался более вы-

сокими показателями морфологических и урожайных характеристик по сравнению с поздним сроком (табл. 1). Соломка перед уборкой в период ранней желтой спелости

первого срока имела более хорошие органолептические показатели: равномерный золотисто-зеленоватый цвет и гладкую блестящую поверхность.

Таблица 1

**Влияние сроков посева на формирование урожая льна-долгунца на осушаемых землях**

Год	Срок и дата посева	Показатели морфологического анализа растений льна перед уборкой			Показатели структуры урожая льна		
		густота стояния, шт/м <sup>2</sup>	общая высота растений, см	техническая длина, см	количество коробочек на 1 растение, шт.	семян, т/га	соломки, т/га
2011	ранний	2635	73,4	63,3	3,9	0,71	6,74
	поздний	2593	71,2	60,2	3,5	0,45	5,63
2012	ранний	2349	76,6	64,0	4,1	0,64	7,20
	поздний	2317	68,6	57,1	3,6	0,57	6,10
В среднем по году							
2011		2614±21	72±1,1	62±1,6	3,7±0,20	0,6±0,13	6,2±0,56
2012		2333±16	73±4,0	61±3,5	3,9±0,25	0,6±0,04	6,7±0,55
В среднем по сроку (2011-2012 гг.)							
ранний		2492±143	75±1,6	64±0,4	4,0±0,10	0,7±0,04	7,0±0,23
поздний		2455±138	70±1,3	59±1,6	3,6±0,05	0,5±0,06	5,9±0,24

Двухлетние данные по морфологии и урожайности, объединенные либо по срокам, либо по годам испытаний, выявили, что большие различия наблюдаются между сроками в оба года исследований, чем различия в один срок между годами. Усредненные данные по году демонстрируют достаточно близкие значения, тогда как средние данные всех параметров по срокам посева значительно различаются. При этом ранний срок позволил более полно реализоваться сортовому потенциалу Ленка. Вероятно, различия в климатических условиях двух сроков высева с интервалом между ними в две недели в течение одного года испытания выявляют более значимую реакцию растений на действующие факторы на ранних этапах вегетации, что подтверждается в других исследованиях по этой проблеме [4]. Изобильные осадки в 2012 г., в условиях мелиоративного поля, не оказали негативного влияния на урожайность как в пределах сроков, так и при сравнении с результатами, полученными в относительно оптимальном 2011 г.

Изученный сорт показал значительные различия по параметрам продуктивности между сроками в оба года исследований. Так, семенная продуктивность между сроками в 2011 г. различалась более чем на 30%, а в 2012 г. – на 10%, хотя в ряде работ сообщается, что при достаточной влагообеспеченности на осушенных землях хо-

зяйственно-ценные показатели льна от сроков сева изменяются мало [7]. Урожайность соломки различалась между сроками в оба года исследований в пределах 15%. Полученные данные указывают на большую реактивность генеративной сферы растения льна, чем вегетативной, на абиотические факторы среды. Это может быть связано и с адаптивностью генеративной системы льна к условиям возделывания [11, 12]. Анализ реализации сортового потенциала в годы изучения в условиях осушаемого поля выявил относительно высокие значения по годам: в 2011 г. – 75% и 78% по семенам и соломке соответственно, в 2012 г. – 75% и 84% соответственно. Расчет по срокам сева в оба года испытаний указывает на различия между ранним и поздним сроками. Так, в ранний срок отмечается более высокая степень реализации сортового потенциала и по семенам, и по соломке (88% для обоих показателей), тогда как при позднем сроке – 63% по семенам и 74% по соломке.

Факторный анализ данных выявляет значительный вклад срока посева на урожайность по семенам (65%) и соломе (68%), тогда как доля влияния года составляет всего лишь 2 и 13% соответственно. Взаимодействие факторов по семенам составляет 23%, отсутствуя по соломе. Доля случайных факторов составила 10% для семян и 14% – для соломы.

Полученные данные могут быть использованы не только для рекомендаций в практической работе по возделыванию льна в условиях мелиорированных земель [13], но и для разработки новых технологий точного земледелия [14] и различных селекционных технологий, учитывающих влияние климатических и эдафических факторов на реализацию генетического потенциала сортов [1].

Оценка фитопатологических характеристик также выявила значимые различия между сроками и годами испытаний. Анализ растений в 2011 г. показал, что перед уборкой (12 августа) посев льна раннего срока отличался повышенной устойчивостью к полеганию и слабой пораженностью болезнями – в частности, фузариозным увяданием и антракнозом (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние срока посева льна-долгунца на фитосанитарное состояние перед уборкой**

Срок посева	Засоренность посева многолетними сорняками		Пораженность болезнями, %					Полегание посева, балл
	количество, шт/м <sup>2</sup>	воздушно-сухая масса, г/м <sup>2</sup>	фузариозное увядание	фузариозное побурение	антракноз	бактериоз	пасмо	
2011 г.								
ранний	32,0	19,8	5,8	27,0	15,1	7,8	2,0	1
поздний	5,7	3,1	21,5	61,5	53,8	4,3	3,0	3-4
2012 год								
ранний	28	18,2	11,0	24,0	21,0	6,0	2,0	1
поздний	17	11,2	22,0	33,0	24,0	5,0	3,0	1

Напротив, при позднем сроке посева перед уборкой были отмечены более сильное полегание льна (хотя и локальное) и поражение болезнями, преимущественно фузариозным побурением и антракнозом, что явилось в основном результатом более поздней уборки посева (31 августа). В результате урожай семян снизился на 0,26 т/га, соломки – на 1,11 т/га. Качество соломки при этом сроке существенно ухудшилось, она приобрела буроватый цвет с серым налетом возбудителя серой плесени *Botrytis cinerea Pers.*, способствующего разрушению коровой паренхимы и ухудшению качества волокна. Однако в условиях данного года посева позднего срока, по сравнению с ранним, практически были чистыми от сорняков на протяжении всего периода вегетации, преимущественно за счет повторной культивации, проведенной перед посевом льна, а также благодаря своевременной и качественной химпрополке посева достаточно эффективными препаратами и установившейся теплой и сухой погоде после гербицидной обработки.

При раннем сроке посева период химпрополки совпал с хорошей погодой во 2-й декаде июня (при температуре 16,1-18,9°C и сумме осадков 25 мм), однако спустя меньше недели после обработки посевов прошли обильные дожди, хорошо увлажнившие почву, что спровоцировало массовое отрастание сорных растений: осота, бодяка и др., практически уже потерявших тургор.

В 2012 г. при раннем сроке посева период химпрополки совпал с хорошей и теплой погодой (+18,2°C во второй декаде июня), однако сильные осадки, выпавшие в 1-й и 2-й декадах месяца, сильно увлажнили почву, что спровоцировало массовое отрастание сорных растений, преимущественно многолетних: бодяка полевого, осота полевого, вьюнка полевого и других (табл. 2).

Период обработки гербицидами позднего срока посева оказался более благоприятным. Агрометеорологические условия 1-й декады июля отличались высокой температурой (в пределах +20°C) и выпадением значительно меньшего количества осадков, что способствовало более эффективной работе препаратов. Посевы позднего срока, по сравнению с ранним, в условиях этого года были засорены однолетними сорняками, преимущественно ежевником обыкновенным, марью белой, торицей полевой и подмаренником цепким.

Обилие осадков во 2-й декаде июля и во 2-й, 3-й декадах августа сильно увлажнило почву и создало недостаточно благоприятные условия для формирования высокого урожая, особенно позднего срока сева, что, безусловно, сдерживало сроки созревания льна. При этом, несмотря на высокую влажность почвы в этом году, в отличие от предыдущего года полегания льна не наблюдалось. Уборка льна в опыте была проведена в раннюю желтую спелость, ко-

торая наступила для раннего срока посева в конце августа, позднего – в 1-й половине сентября.

### Выводы

Результаты исследований показали, что ранний срок посева в оба года исследований обеспечил по сравнению с поздним лучшие показатели структуры урожая, что может быть связано с более благоприятными климатическими условиями для развития растения льна, ранним наступлением периода зрелости, меньшим поражением болезнями. Необходимо отметить, что при позднем сроке уборки в условиях повышенной влажности на посевах льна развивалась серая плесень (возбудитель *Botrytis cinerea Pers.*), способствующая разрушению стебля и ухудшению качества волокна. В условиях обоих годов испытания пасмо проявилось на посевах обоих сроков, но в слабой степени.

Таким образом, результаты двухлетних исследований указывают, что временная разница между посевами в 2-3 недели значительно отражается на реализации сортового потенциала льна-долгунца. На осушаемых землях сорт Ленок показывал высокую степень реализации сортового потенциала. Различные условия двух лет испытаний указывают, что наиболее благоприятные условия для формирования устойчивого урожая льна с хорошим качеством выявились при раннем сроке посева.

### Библиографический список

1. Жученко А.А. Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI столетии (эколого-генетические основы). Теория и практика. М.: Агрорус, 2010. 1053 с.
2. Ущাপовский И.В., Корнеева Е.М., Белопухов С.Л., Дмитриевская И.И., Прохоров И.С. Изучение биорегуляторов для предотвращения действия гербицидов на посевах льна-долгунца // Агротехнический вестник. 2014. № 4. С. 27-29.
3. Перспективная ресурсосберегающая технология производства льна-долгунца: Методические рекомендации. М.: ФГНУ «Росинформ-агротех», 2008. 66 с.
4. Карпунин Б.Ф., Ущাপовский И.В. Адаптивные реакции льна-долгунца на изменение климатических условий в период вегетации // Земледелие. 2015. № 6. С. 36-39.

5. Тихомирова В.Я., Сорокина О.Ю. Лен-долгунец. Биологические особенности. Управление формированием урожая и его качества. Тверь: Тверской гос. университет, 2011. 160 с.

6. Белопухов С.Л., Малеванная Н.Н. Совместное действие гербицидов и регуляторов роста растений на засоренность посевов льна // Агро XXI. 2004/2005. № 1-6. С. 27-28.

7. Фоменко Л.Д. Производство льна на осушенных землях. М.: Колос, 1982. 143 с.

8. Методические указания по проведению полевых опытов со льном-долгунцом. Торжок: ВНИИЛ, 1978. 71 с.

9. Методические указания по фитопатологической оценке устойчивости льна-долгунца к болезням. М.: РАСХН, 2000. 52 с.

10. Румянцев В.И., Коптева З.Ф., Сурков Н.Н. Земледелие с основами почвоведения. М.: Колос, 1979. 367 с.

11. Балашова Н.Н., Валеева З.Т., Игнатов А.Н., Суслова Л.В., Ущাপовский И.В., Жученко А.А., Даус В.В. К вопросу о роли микрогаметофита в адаптации растений к эконисше возделывания // Сельскохозяйственная биология. 1994. № 3. С. 59-64.

12. Уткина Е.И., Кедрова Л.И., Шляхтина Е.А., Парфенова Е.С., Шамова М.Г., Сысуев В.А., Жень Чанчжун. Реакция сорта озимой ржи Фаленская 4 в экстремальных условиях средовых факторов // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 11. С. 55-57.

13. Петрова Л.И., Первушина Н.К. Продуктивность сортов яровой пшеницы в различных агроэкологических условиях осушаемых земель // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 11. С. 20-22.

14. Ущাপовский И.В., Мочкова Т.В., Смирнов И.Г., Личман Г.И., Марченко А.Н. Изучение особенностей адаптации точного земледелия к возделыванию льна-долгунца // Экология и сельскохозяйственные технологии: агроинженерные решения: Материалы 7-й Международной научно-практической конференции. СПб.: РАН, 2011. С. 56-61.

Материал поступил в редакцию 10.01.2017 г.

### Сведения об авторах

**Ущাপовский Игорь Валентинович**, кандидат биологических наук, доцент, заместитель директора, ФГБНУ ВНИИМЛ, 170041, г. Тверь, Комсомольский пр-т, 17/56; тел.: (4822) 41-61-10, e-mail: vniil1@mail.ru

**Петрова Лидия Ивановна**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ВНИИМЗ, 170530, Тверская обл., Калининский р-он., пос. Эммаус, 27; тел.: (4822) 37-85-44. e-mail: vniimz@list.ru

**Корнеева Евгения Михайловна**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ВНИИМЗ,

170530, Тверская обл., Калининский р-он., пос. Эммаус, 27; тел.: (4822) 37-85-44. e-mail: vniimz@list.ru

**Белопухов Сергей Леонидович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой химии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, 127550, Тимирязевская ул. 49; тел.: (499) 976-32-16, e-mail: belopuhov@timacad.ru

#### I.V. USHCHAPOVSKY

Federal state budget scientific institution «All-Russian research institute of mechanization of flax cultivation» (FSBRI VNIIML), Tver, Russian Federation

#### L.I. PETROVA, E.M. KORNEEVA

Federal state budget research institution «All-Russian research institute of reclaimed lands» (FSBRI VNIIML), Tver, Russian Federation

#### S.L. BELOPUKHOV

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

## STUDYING OF FLAX SEEDING TERMS UNDER THE CONDITIONS OF DRAINED SOILS

*Flax is sensitive to moisture provision and sharply reduces crop productivity in dry years. The increasing amplitude of changes of climatic conditions during the vegetation period in the areas of flax cultivation leads to significant differences in the yield at different times of seeding. The aim of the study was to assess the response of flax on different dates of sowing under the conditions of drained soils. The time interval between the early and late sowing dates was 15-20 days. The results of two-year field experiment with flax grade Lenok showed significant differences in the productivity of seeds and straw in terms of early and late sowing. The phytosanitary condition of crops was analyzed too. It was found that climatic conditions within a growing season (one year of investigations) at different terms of seeding could influence economic- valuable features more significantly than conditions of one term during different years of investigations. The early sowing term was characterized by better indices of the main morphological characters, in particular, technical length, number of bolls per a plant and ultimately – by the yield of seeds and straw in both years of the investigation. The analysis of the hydrothermic coefficient values during the growing season and parameters of productivity indicates that the drained soils can be used not only as an element of breeding technologies modeling the edaphic background when assessing the material and studying realization of its grade potential.*

*Fiber flax, terms of sowing, productivity, drained lands, hydrothermic coefficient.*

#### References

1. Zhuchenko A.A. Adaptivnaya strategiya ustoychivigi razvitiya seljskogo hozyajstva Rossii XXI stoletii (ecologo-geneticheskie osnovy). Teoriya i praktika. M.: Agrorus, 2010. 1053 s.

2. Ushchapovsky I.V., Korneeve E.M., Belopuhov S.L., Dmitrievskaya I.I., Prohorov I.S. Izuchenie bioregulyatorov dlya prodotvrashcheniya dejstviya gerbitsidiv na posevah ljna-dolguntsa // Agrohimichesky vestnik. 2014. № 4. S. 27-29.

3. Perspektivnaya resursosberegayushchaya tehnologiya proizvodstva ljna-dolguntsa: Metodicheskie rekomendatsii. M.: FGNU «Rosinform-agroteh», 2008. 66 s.

4. Karpunin B.F., Ushchapovsky I.V. Adaptivnye reaktivny ljna-dolguntsa na izmenenie cli-

maticheskikh uslovij v period vegetatsii // Zemledelie. 2015. № 6. S. 36-39.

5. Tihomirova V.Ya., Sorokina O.Yu. Len-dolgunets. Biologicheskie osobennosti. Upravlenie formirovaniem urozhaya i ego kachestva. Tver.: Tverskij gos. Universitet, 2011. 160 s.

6. Belopukhov S.L., Malevannaya N.N. Sovmestnoe dejstvie gerbitsidov i regulyatorov rosta rastenij na zasorennoj posevov ljna // Agro XXI. 2004/2005. № 1-6. S. 27-28.

7. Fomenko L.D. Proizvodstvo ljna na osushennyh zemlyah. M.: Kolos, 1982. 143 s.

8. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevyh opytov so lnom-dolguntsom. Torzhok: VNIIL, 1978. 71 s.

9. Metodicheskie ukazaniya po fitopatologicheskoj otsenke ustojchivosti ljna-dolguntsa k boleznym. M.: RASHN, 2000. 52 s.

10. Rumyantseva V.I., Kopteva Z.F., Surkov N.N. Zemledelie s osnovami pochvovedeniya. M.: Kolos, 1979. 367 s.

11. Balashova N.N., Valeeva Z.T., Ignatov A.N., Suslova L.V., Ushchapovsky I.V., Zhuchenko A.A., Daus V.V. K voprosu o roli mikrogametofita v adaptatsii rastenij k econishe vozdeleyvaniya // Seljskohozyajstvennaya biologiya. 1994. № 3. S. 59-64.

12. Utkina E.I., Kedrova L.I., Shlyahtina E.A., Parfenova E.C., Shamova M.G., Sysuev V.A., Zhenj Xhanzhun. Reacsiya sorta ozimnoj rzhi Falenskaya 4 v ekstremalnyh usloviyah sredovyh factorov // Dostizheniya nauki i tehniki APK. 2015. T. 29. № 11. S. 55-57.

13. Petrova L.I., Pervushina N.K. Productivnostj sortov yarovoj pshenitsy v razlichnyh agroekologicheskikh usloviyah osushaemyh zemel // Dostizheniya nauki i tehniki APK. 2012. № 11. S. 20-22.

14. Ushchapovsky I.V., Mochkova T.V., Smirnov I.G., Lichman G.I., Marchenko A.N. Izuchenie osobennostej adaptatsii tochnogo zemledeliya k vozdeleyvaniyu ljna-dolguntsa // Ecologiya i seljskohozyajstvennye tehnologii: agroinzhenernye resheniya: Materialy 7-j

Mezhdunarodnoj nauchno-practicheskoy konferentsii. SPb: RAN, 2011. S. 56-61.

The material was received at the editorial office  
10.01.2017

#### Information about the authors

**Ushchapovskij Igor Valentinovich**, candidate of biological sciences, associate professor, deputy director, FGBNU VNIIML, 170041, Tver, Komsomoljsky pr-t, 17/56; tel.: (4822) 41-61-10, e-mail: vniil1@mail.ru

**Petrova Lidiya Ivanovna**, candidate of agricultural sciences, a leading researcher, FGBNU VNIIMZ, 170530, Tverskaya area, Kalininsky region, pos. Emmaus, 27; tel.: (4822) 37-85-44. e-mail: vniimz@list.ru

**Korneeva Yevgeniya Mikhailovna**, candidate of agricultural sciences, a leading researcher, FGBNU VNIIMZ, 170530, Tverskaya area, Kalininsky region, pos. Emmaus, 27; tel.: (4822) 37-85-44. e-mail: vniimz@list.ru

**Belopukhov Sergej Leonidovich**, doctor of agricultural sciences, professor, head of the chair of chemistry, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, Moscow, 127550, Timiryazevskaya ul., 49; tel.: (499) 976-32-16, e-mail: belopuhov@timacad.ru

УДК 502/504: 635.925: 631.535:625.77

#### Д.Е. ХЛЕВНЫЙ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени П.П. Лукьяненко» г. Краснодар, Краснодарский край, Российская Федерация

### ДЛИНА ЧЕРЕНКОВ ЛИАНЫ РОДА AMPELOPSIS КАК ОДИН ИЗ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ФАКТОРОВ ПРИ РАЗМНОЖЕНИИ

*При проектировании современных зданий и сооружений нельзя забывать о моделировании среды как эстетического объекта. Деревянистые лианы весьма ценны для практического применения в озеленении. Для получения качественного посадочного материала и увеличения выхода стандартных саженцев необходимо иметь представление о закономерности процессов побего- и корнеобразования в контролируемой среде. Для изучения процессов побего- и корнеобразования нами были выбраны лианы рода Ampelopsis вида asonitifolia (впервые описано А. Мишо в 1803 г.) ввиду их несомненных декоративных свойств. Целью нашего исследования явилось установление влияния длины черенков этого рода на процессы побего- и корнеобразования. По мнению ряда учёных, длина черенков влияет на абсолютный запас пластических веществ и гормональную активность, т.е. первостепенные факторы, определяющие их регенерационную активность. Для более точного определения влияния длины черенков на процессы их побего- и корнеобразования исследуемый материал был разделён на 4 группы, каждая с разницей по 5 см (от 10-30 см). В результате проведённых исследований установлено, что наиболее активное развитие глазков у черенков лиан A. asonitifolia длиной 20,1-30,0 см происходит в течение 13 дней. На черенках этой длины развивается больше побегов, появляющихся быстрее, чем на более коротких черенках. У черенков длиной 20,1-30,0 см наблюдается наибольшее количество укоренившихся, а также наибольшее количество*

черенков с 3 корнями и более в сравнении с более короткими. Основываясь на результатах проведённого нами опыта, для получения более качественного посадочного материала и увеличения выхода стандартных саженцев рекомендуем использовать черенки лиан *A. aconitifolia* длиной от 20,1 см до 30,0 см.

*Лиана, озеленение, длина, черенок, род Ampelopsis, укоренение, водная среда.*

**Введение.** В настоящее время объектом внимания архитекторов и дизайнеров, возрождающих ландшафтный подход при проектировании урбосреды, становятся общегородские и дворовые пространства, приусадебные участки и проч. реконструируемых исторических городов и новых градостроительных образований. Мировой опыт признаёт разработку планов развития данного направления важным аспектом гуманизации среды обитания человека. Наряду с созданием высокотехнологичных комплексов разрабатываются проектные идеи городских ансамблей с максимальным использованием средств формирования, основанных на моделировании среды как эстетического объекта [1, 2, 3].

Деревянистые лианы весьма ценны для практического применения (озеленение, использование садоводами-любителями и т.д.). Одни виды сравнительно легко размножаются семенами и вегетативно (черенками, отводками и др.), для других необходимо выполнение специальных методов предпосевной и предпосадочной подготовки [4].

Изучение процессов побего- и корнеобразования в контролируемой среде позволит получать качественный посадочный материал и увеличить выход саженцев.

По мнению ряда учёных [5-9], длина черенков является одним из определяющих факторов при выращивании посадочного

материала. От длины черенков зависит их абсолютный запас пластических веществ и гормональная активность, т.е. первостепенные факторы, определяющие их регенерационную активность.

Для изучения процессов побего- и корнеобразования нами были выбраны лианы рода *Ampelopsis* вида *aconitifolia* (впервые описано А. Мишо в 1803 г.) ввиду их несомненных декоративных свойств.

Эксперименты по вегетативному размножению проводились рядом исследователей [10] однако при укоренении в водной среде она изучается впервые, поэтому тему можно считать актуальной.

Целью нашего исследования было установление влияния длины черенков лиан *A. aconitifolia* на их регенерационную способность.

Задачи исследования заключались в том, чтобы изучить влияние длины черенков, лиан *A. aconitifolia* (рис. 1) на процент черенков с распустившимися глазками; процент распустившихся глазков (степень распускания глазков); среднее число побегов на черенок; суммарную длину побегов на 1 черенок; среднюю длину одного побега (измерение проводили сверху вниз); укореняемость (процент черенков с корнями); среднее число корней на укоренившийся черенок; процент черенков, имеющих 3 корня и более.



Рис. 1. Фрагмент лианы *A. aconitifolia*

**Материалы и методы.** Исследования проводились в 2015-2016 гг.

Черенки лиан были заготовлены на ампелографической коллекции Крымской ОСС и Анапской ампелографической коллекциях. Их нарезали на 3-глазковые и устанавливали в стеклянные прозрачные сосуды для укоренения по 10 черенков в каждый. Вода в сосуде поддерживалась на уровне 2-3 см. Предварительно была измерена длина каждого черенка, колебавшаяся от 13,2 до 30,0 см.

Для более точного определения влияния длины черенков на процессы их побего- и корнеобразования исследуемый материал был разделён на 4 группы, каждая с разницей по 5 см, по 40 черенков в каждой:

- 1) черенки длиной от 10,0 до 15,0 см (группа 1)
- 2) черенки длиной от 15,1 до 20,0 см (группа 2)
- 3) черенки длиной от 20,1 до 25,0 см (группа 3)
- 4) черенки длиной от 25,1 до 30,0 см (группа 4)

Наблюдения за процессами ризогенеза проводилось по методике, описанной в 1996 г. Л.М. Малтабаром, П.П. Радчевским, Н.Д. Магомедовым [11] и усовершенствованной затем П.П. Радчевским [12, 13].

Полученные данные обработаны методом дисперсионного анализа [14].

**Результаты и обсуждение.** Начало распускания глазков было отмечено одновременно во всех группах на 9-й день (табл. 1). Между всеми изучаемыми группами установлена достоверная разница. По мнению ряда учёных [13,15,16], запас питательных веществ неразрывно связан с накоплением древесины и соответственно длиной черенков. Наиболее активная степень распускания глазков на 9-й день была выявлена в 4-й группе с наибольшей длиной черенков, составив 40%, что существенно выше, чем в изучаемых группах, почти в 2 раза и более. Исследование учёных-физиологов [6, 7, 17] свидетельствуют о том, что, помимо запаса питательных веществ в черенках, интенсивность распускания почек у растений зависит от их гормональной активности, что подтверждается и в наших опытах. Наименьшая степень распускания глазков отмечена не в 1-й группе, где были отобраны черенки с наименьшей длиной, а во 2-й группе черенков. Она составила

14,1%, что существенно меньше, чем в других группах.

На 13-й день степень распускания глазков увеличилась более чем в 1,5 раза по сравнению с 9-м днём. Отмеченные закономерности не изменились. Самый высокий изучаемый показатель был выявлен в 4-й группе, составив 59,9%, а самый низкий – во 2-й группе (38,4%). Также между всеми группами установлены достоверные различия.

На 19-й день степень распускания глазков также увеличилась во всех группах, однако в меньшей степени, чем в предыдущий период. Между этим показателем в 1-й, 2-й и 3-й группах достоверной разницы не наблюдалось. Значения колебались от 50% в 3-й группе до 52,4% в 1-й группе. Достоверное превышение было отмечено между 4-й и остальными группами черенков, составив 66,6%.

На 22-й день самое низкое значение степени распускания глазков было отмечено во 2-й и 3-й группах, составив 61,5 и 63,3% соответственно, что существенно ниже этого показателя в других изучаемых группах черенков. Так же, как и на протяжении всего опыта, в 4-й группе отмечена самая высокая степень распускания глазков, составившая 73,3%, что существенно превышает этот показатель в других группах черенков. В 1-й группе степень распускания глазков составила 66,7%, что существенно ниже этого значения в 4-й группе, но достоверно выше, чем во 2-й и 3-й группах.

Анализируя полученные результаты, установили, что черенки длиной 25,1-30,0 см, предположительно за счёт более высокого накопления питательных веществ, обладают повышенной степенью распускания глазков. Черенки длиной 10-15 см, хотя и имеют самое низкое накопление питательных веществ, однако, предположительно за счёт высокой гормональной активности глазков, также показывают высокую степень их распускания.

Установлено, что изменения количества побегов на черенок в 1-й и 2-й группах происходили до 22-го дня, а у черенков в 3-й и 4-й группах – до 19-го дня. На 13-й день самое низкое количество побегов на черенок отмечено в 1-й и 2-й группах. Оно составило 1,0 шт. и 1,1 шт. соответственно, что существенно ниже, чем в 3-й и 4-й группах черенков. Самое высокое количество побегов на черенок выявлено в 4-й группе

(1,7 шт.), что достоверно превышает другие варианты. С 19 по 26 дни опыта в 1-й группе количество побегов на черенок было существенно ниже других вариантов и составило 1,0-1,1 шт. соответственно. В этот же период максимальное количество побегов на черенок было отмечено в 4-й группе, составив 1,8 шт.

вило 1,0-1,1 шт. соответственно. В этот же период максимальное количество побегов на черенок было отмечено в 4-й группе, составив 1,8 шт.

Таблица 1

**Побегообразование в зависимости от длины черенков в динамике, среднее за 2015-2016 гг.**

Показатели	Длина черенков	Дней от начала опыта				
		9-й	13-й	19-й	22-й	26-й
степень распускания глазков, %	группа 1 (10,0-15,0 см)	26,2	47,6	52,4	66,7	66,7
	группа 2 (15,1-20,0 см)	14,1	38,4	51,3	61,5	61,5
	группа 3 (20,1-25,0 см)	20,0	43,3	50,0	63,3	63,3
	группа 4 (25,1-30,0 см)	40,0	59,9	66,6	73,3	73,3
	НСР <sub>0,01</sub>	2,8	3,58	2,96	3,32	3,32
побегов на черенок, шт.	группа 1 (10,0-15,0 см)	-	1,0	1,0	1,1	1,1
	группа 2 (15,1-20,0 см)	-	1,1	1,3	1,4	1,4
	группа 3 (20,1-25,0 см)	-	1,3	1,6	1,6	1,6
	группа 4 (25,1-30,0 см)	-	1,7	1,8	1,8	1,8
	НСР <sub>0,01</sub>		0,28	0,25	0,16	0,16
длина первого побега, см	группа 1 (10,0-15,0 см)	-	1,23	3,98	4,02	4,02
	группа 2 (15,1-20,0 см)	-	1,65	3,29	4,5	4,5
	группа 3 (20,1-25,0 см)	-	1,70	4,38	5,28	5,28
	группа 4 (25,1-30,0 см)	-	2,93	5,0	5,38	5,38
	НСР <sub>0,01</sub>		0,15	0,28	0,43	0,43
длина второго побега, см	группа 1 (10,0-15,0 см)	-	-	2,95	2,97	2,97
	группа 2 (15,1-20,0 см)	-	1,20	2,8	3,35	3,35
	группа 3 (20,1-25,0 см)	-	1,45	3,43	4,29	4,29
	группа 4 (25,1-30,0 см)	-	2,25	2,78	3,58	3,58
	НСР <sub>0,01</sub>		0,21	0,3	0,27	0,27
суммарная длинна побегов, см	группа 1 (10,0-15,0 см)	-	1,23	3,63	4,14	4,14
	группа 2 (15,1-20,0 см)	-	1,67	4,2	5,73	5,73
	группа 3 (20,1-25,0 см)	-	1,96	6,06	7,62	7,62
	группа 4 (25,1-30,0 см)	-	4,40	6,78	7,88	7,88
	НСР <sub>0,01</sub>		0,29	0,29	0,23	0,23

Нужно отметить, что в 1-й группе черенков первые побеги начали развиваться на 13-й день, в то время как вторые – лишь на 19-й день. В остальных группах и первый, и второй побег развивались одновременно на 13-й день.

Анализируя полученные данные, мы видим, что независимо от группы длина первого побега больше, чем длина второго. Также с увеличением длины черенка увеличивается и длина первого побега, что свидетельствует о проявлении продольной полярности, характерной для представителей семейства Vitaceae.

В результате наблюдений установлено, что в 1-й группе на протяжении всего опыта

суммарная длина побегов была достоверно ниже этого показателя, чем в других изучаемых группах, и колебалась от 1,23 см на 13-й день до 4,14 см к 22 дню и до конца опыта. С увеличением длины черенка увеличивалась и суммарная длина побегов. Так, в группе с длиной 25,1-30,0 см отмечена самая большая суммарная длина побегов на протяжении всего опыта. Она колебалась от 4,4 см до 7,88 см, что существенно выше этого показателя в других группах в течение всего опыта.

На 19-й день отмечено образование корней лишь у черенков во 2-й группе (табл. 2). Оно составило 8,7% от общего числа, при этом количество корней на черенок составило 2,7 шт.

**Корнеобразование в зависимости от длины черенков в динамике,  
среднее за 2015-2016 гг.**

Показатели	Длина черенков	Дней от начала опыта		
		19-й	22-й	26-й
укоренившихся черенков, %	группа 1 (10,0-15,0 см)	-	28,0	56,0
	группа 2 (15,1-20,0 см)	8,7	31,9	63,8
	группа 3 (20,1-25,0 см)	-	63,9	85,2
	группа 4 (25,1-30,0 см)	-	40	80
	НСР <sub>0,01</sub>	-	3,9	5,8
корней на черенок, шт.	группа 1 (10,0-15,0 см)	-	3,5	4,7
	группа 2 (15,1-20,0 см)	2,7	1,9	3,3
	группа 3 (20,1-25,0 см)	-	2,4	3,8
	группа 4 (25,1-30,0 см)	-	1,7	3,2
	НСР <sub>0,01</sub>	-	0,4	0,3
черенков с 3 корнями и более, %	группа 1 (10,0-15,0 см)	-	14	28
	группа 2 (15,1-20,0 см)	2,9	8,7	37,7
	группа 3 (20,1-25,0 см)	-	30,8	53,9
	группа 4 (25,1-30,0 см)	-	-	49,8
	НСР <sub>0,01</sub>	-	1,3	3,9

Важным показателем для получения высококачественного посадочного материала является количество черенков с 3 и более корнями [18]. На 19-й день во 2-й группе отмечено 2,9% черенков с 3 корнями и более.

На 22-й день наименьший процент укоренившихся черенков выявлен в 1-й и 2-й группах, составив 28,0% и 31,9% соответственно. Между 1-й и 2-й группами существенной разницы не установлено, однако они достоверно ниже в сравнении с другими группами. В 3-й группе отмечено 63,9% укоренившихся черенков, что достоверно превышает этот показатель в других группах на 22-й день.

На 26-й день в 1-й группе отмечено 56% укоренившихся черенков, что так же, как и в предыдущий период, существенно ниже этого показателя в других группах. Максимальное количество укоренившихся черенков отмечено в 3-й и 4-й группах. Оно составило 85,2% и 80,0% соответственно, что достоверно выше, чем в других изучаемых группах.

На 22-й день меньше всего корней на 1 черенок было отмечено во 2-й и 4-й группах: 1,9 и 1,7 шт. соответственно. Существенной разницы между этими группами не установлено. Максимальное количество корней на черенок отмечено в 1-й группе (3,5 шт.), что достоверно выше, чем в других группах.

Такая же закономерность по всем изучаемым группам выявлена на 26-й день. Наименьшее среднее количество корней отмечено во 2-й и 4-й группах: 3,3 и 3,2 шт. соответственно. Наибольшее среднее количество корней (4,7 шт.) сохранилось в 1-й группе.

Показатель количества черенков с 3 корнями и более на 22-й день между изучаемыми группами расположился в следующем возрастающем порядке: 2-я группа – 8,7%, 1-я группа – 14%, 3-я группа – 30,8%, в 4-й группе черенков с 3 корнями и более не зафиксировано.

На 26-й день наибольший процент черенков с 3 корнями и более был отмечен в 3-й группе (53,9% от укоренившихся). В 4-й группе он равнялся 49,8%, что существенно ниже этого показателя в 3-й группе, однако вплотную приближался к порогу достоверности. В 1-й и 2-й группах этот показатель оказался в 1,5 и более раза меньше, чем в 3-й и 4-й группах, и составил 28,0% и 37,7% соответственно. Разница между 1-й и 2-й группами, с одной стороны, и 3-й и 4-й, с другой, была достоверной

### Выводы

1. Наибольшее количество побегов развивается у черенков длиной 20,1-30,0 см, при этом они появляются на три дня быстрее, чем на более коротких черенках.

2. Больше всего укоренившихся черенков, а также наибольшее количество черенков с 3 корнями и более наблюдалось у черенков длиной 20,1-30,0 см.

3. Основываясь на результатах проведённого нами опыта, для получения более качественного посадочного материала и увеличения выхода стандартных саженцев рекомендуем использовать черенки лиан *A. aconitifolia* длиной 20,1-30,0 см.

### Библиографический список

1. Приходько Г.Ю. Ландшафтное проектирование садовых и парковых объектов в условиях мегаполиса // Плодоводство и виноградарство юга России. – Режим доступа: <http://journal.kubansad.ru/pdf/13/02/15.pdf>

2. Михайлов С.М. Дизайн городской среды как вид синтетической деятельности. Исторический аспект. // Design-Review. – Режим доступа: [http://design-review.net/index.php?show=articles&author\\_id=2](http://design-review.net/index.php?show=articles&author_id=2).

3. Игнатьева М. Человек и природа: общие приоритеты // Ландшафтная архитектура. Дизайн. 2008. № 4 (23). С. 56-59.

4. Слизык Л.Н. Практические рекомендации по размножению древесных лиан Приморья // Редкие и исчезающие древесные растения юга Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 113-117.

5. Саркисова М.М. Действие ауксинов на некоторые физиологические изменения в регенерирующих черенках винограда // Процессы дифференциации и регенерации у изолированных тканей и органов растений: Межвузовский научно-тематический сборник. Махачкала, 1986. С. 49-53.

6. Турецкая Р.Х. Роль природных ауксинов и ингибиторов роста в образовании корней у стеблевых черенков // Новое в размножении садовых растений: Труды Межвузовской науч. – метод. конференции по новой технологии выращивания посадочного материала плодовых, декоративных и лесных культур. М.: Изд-во МСХА им. К.А. Тимирязева, 1969. С. 38-44.

7. Чайлахян М.Х., Саркисова М.М. Регуляторы роста у виноградной лозы и плодовых культур. Ереван: Изд-во АН Армянской ССР, 1980. 188 с.

8. Bartolini G., Toponi M.A., Santini L. Fyton, 1991. № 1. С. 915.

9. Chauvin P. Notes concernant L'emploi de L'exuberone. Chauvin s.a. agrodistribution. Catalogue. № 4. 2000. P. 46.

10. Бибиков Ю.А. Интродуцированные вьющиеся древесные растения для вертикального озеленения в БССР: Автореф. дис. ...канд. наук. Минск, 1962. 19 с.

11. Малтабар Л.М., Радчевский П.П., Магомедов Н.Д. Ризогенная активность черенков новых сортов винограда при окоренении их на воде и в брикетах из гравилена // Виноград и вино России. 1996. № 5. С. 11-13.

12. Радчевский П.П., Трошин Л.П. Регенерационные свойства виноградных черенков под влиянием обработки их гетероауксином в зависимости от сортовых особенностей // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2012. № 03(077). С. 1194-1223.

13. Радчевский П.П. Корнеобразовательная способность 5-ти глазковых черенков устойчивых сортов винограда при их укоренении на воде // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2014. № 01(095). С. 310-326.

14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1968. С. 305.

15. Малтабар Л.М., Козаченко Д.М. Виноградный питомник (теория и практика). Краснодар, 2009. 290 с.

16. Габибова Е.Н., Чулков В.В. Влияние объёма древесины черенков на рост и развитие саженцев винограда // Современные проблемы устойчивого развития АПК России: Материалы Международной научной конференции Донского госагроуниверситета. Персиановский, 2003. С. 49.

17. Дерендовская А.И. Регенерационные процессы у привитых черенков винограда в связи с гормональной регуляцией: Автореф. дис. ...канд. с.-х. наук. Кишинев, 1992. 44 с.

18. ГОСТ Р 53025-2008. Посадочный материал винограда (саженцы) // Технические условия. М.: Стандартинформ, 2009. 5 с.

Материал поступил в редакцию 16.12.2016 г.

### Сведения об авторе

Хлевный Дмитрий Евгеньевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко, 350012, Краснодарский край, г. Краснодар, центральная усадьба КНИИСХ; тел.: 8-961-524-43-43; e-mail: spviking@mail.ru

D.YE. KHLEVNY

Federal state budget research institution «Krasnodarsky research institute of agriculture named after P.P. Lukjyanenko», Krasnodar, Krasnodarsky area, Russian Federation

## LENGTH OF LIANA CUTTINGS OF AMPELOPSIS KIND AS A DETERMINING FACTOR AT REPRODUCTION

*When designing modern buildings and structures we can't forget about modeling of environment as an aesthetic object. Woody lianas are very valuable for practical using in arrangement of green spaces. It is necessary to have an idea of conformity to the processes of sprout and root formation in the controlled environment to obtain a high-quality planting material and increasing of standard seedlings yield. For the study of sprout and root formation we have chosen lianas of the genus Ampelopsis of a species aconitifolia (firstly described by A. Michaux in 1803), for their certain decorative properties. The aim of our research was to set the influence of the length of cuttings of the genus the processes of graft-root formation. Due to opinions of some scientists the length of cuttings influences the absolute reserve of plastic substances and hormone activity that is paramount factors determining their regeneration activity. For a more precise determination of the cutting length influence on the processes of their sprout and root formation, the material under consideration was divided into 4 groups, each with a difference in 5 cm (from 10-30cm). As a result of researches it is established that the most active development of buds in lianas' cuttings aconitifolia in length of 20.1-30.0 cm takes place within 13 days. On the cuttings of such length more buds are germinated and appear faster than on shorter cuttings. The cuttings in length of 20.1-30.0 cm have the most rooted ones and as well as most cuttings with three roots and more in comparison with shorter ones. Based on results of our conducted researches it is recommended to use the cuttings of lianas A. aconitifolia in length of 20.1 cm to 30.0 cm to obtain more qualitative planting material and increase of output of standard young plants.*

*Liana, arrangement of green spaces, cutting, kind Ampelopsis, rootage, water medium.*

### References

1. Prikhodjko G.Yu. Landshaftnoe proektirovanie sadovyh i parkovyh objektov v usloviyah yuga Rossii // Plodovodstvo i vinogradstvo yuga Rossii. – Rezhim dostupa: <http://journal.kubansad.ru/pdf/13/02/15.pdf>
2. Mikhailov S.M. Dizain gorodskoj sredy kak vid sinteticheskoy deytelnosti. Istoricheskij object. // Design-Review. – Rezhim dostupa [http://design-review.net/index.php?show=articles&author\\_id=2](http://design-review.net/index.php?show=articles&author_id=2).
3. Ignatjeva M. Chelovek i priroda: obshchie prioritety // Landshaftnaya arhitektura. Dizain. 2008. № 4 (23). S. 56-59.
4. Slizik L.N. Practicheskie recomendatsii po razmnozheniyu drevesnyh lian Primorja // Redkie i ischezayushchie drevesnye rasteniya yuga Daljnego Vostoka. Vladivostok: DVNTS AN SSSR, 1978. S. 113-117.
5. Sarkisova M.M. Deistvie auksinov na nekotorye fiziologicheskie izmeneniya v regeneriruyushchih cherenkah vinograda // Protsessy defferentsiatsii i regeneratsii u izolirovannyh tkanej i organov rastenij: Mezhvuzovskiy nauchno-tematicheskij sbornik. Makhachkala, 1986. S. 49-53.
6. Turetskaya R.H. Rolj prirodnyh auksinov i ingibitorov rosta v obrazovanii kornej u stebelnyh Cherenkov // Novoe v razmnozhenii sadovyh rastenij: Trudy Mezhvuzovskoj nauch. – metod. Conferentsii po novoj tehnologii vyrashchivaniya posadochnogo materiala plodovyh, dekorativnyh i lesnyh kuljtur. M.: Izd-vo MSHA im. C.A. Timiryazeva, 1969. S. 38-44.
7. Chailahyan M.H., Sarkisova M.M. Regulyatory rosta u vinogradnoj lozy i plodovyh kuljtur. Yerevan: Izd-vo AN Armyanskoj SSR, 1980. 188 s.
8. Bartolini G., Toponi M.A., Santini L. Fyton, 1991. № 1. P. 915.
9. Chauvin P. Notes concernant L'emploi de L'exuberone. Chauvin s.a. agrodistribution. Catalogue. № 4. 2000. P. 46.
10. Bibikov Yu.A. Introdutsirovannye vjyushchiesya drevesnye rasteniya dlya vertikaljnogo ozeleneniya b BSSR: Avtoref. Dis... cand. nauk. Minsk, 1962. 19 s. 11. Maltabar L.M., Radchevsky P.P., Magomedov N.D. Rizogennaya aktivnostj Cherenkov novyh sortov vinograda pri okorenenii ih na vode i v briketah iz gravilena // Vinograd i vino Rossii. 1996. № 5. S. 11-13.
12. Radchevsky P.P., Troshin L.P. Regeneratsionnye svoistva vinogradnyh Cherenkov pod vliyaniem obrabotki ih geteroauksinom v zavisimosti ot sortovyh osobennostej // Politematicheskij setevoj electronny nauchny zhurnal Kubanskogo gosydarstvennogo agrar-

nogo universiteta (Nauchny zhurnal KubGAU) [Elctronny resurs]. Krasnodar: KubGAU, 2012. № 03(077). S KubGAU. 1194-1223.

13. Radchevsky P.P. Korneobrazovatel'naya sposobnost' 5-ti glazkovykh Cherenkov ustojchivykh sortov vinograda pri ih ukorenении na vode // Politematichesky setevoy electronny nauchny zhurnal Kubanskogo gosydarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchny zhurnal KubGAU) [Elctronny resurs]. Krasnodar: KubGAU, 2014. № 01(095). S. 310-32603(077).

14. Dosphehov B.A. Metodika polevogo opyta. M.: Kolos, 1968. S. 305.

15. Maltabar L.M., Kozachenko D.M. Vinogradny pitomnik (teoriya i praktika). Krasnodar, 2009. 290 s.

16. Gabibova E.N., Chulkov V.V. Vliyanie objema drevesiny Cherenkov na rost i razvitie sazhentsev vinograda // Sovremennye problemy ustojchivogo razvitiya APK Rossii: Materialy

Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii Donskogo gosagrouniversiteta. Persianovsky, 2003. S. 49.

17. Derendovskaya A.I. Regeneratsionnye protsessy u privitykh Cherenkov vinograda v cvyazi s gormonal'noy regulyatsiej: Avtoref. Dis... cand. s. – h. Nauk. Kishinev, 1992. 44 s.

18. GOST P 53025-2008. Posadochny material vinograda (sazhentsy) // Tehnicheskie usloviya. M.: Standartinform, 2009. 5 s.

The material was received at the editorial office  
16.12.2016

#### Information about the author

Khlevny Dmitry Yevgenjevich, candidate of agricultural sciences, senior researcher, KNIISH named after P.P. Lukjyanenko, 350012, Krasnodarsky kraj, Krasnodar, tsentral'naya usadjba KNIISH; tel.: 8-961-524-43-43; e-mail: spviking@mail.ru

УДК 502/504: 631.42.634 (575.3)

#### Х.У. ЮЛДАШЕВ

Согдийская опытная почвенно-мелиоративная станция Института почвоведения Таджикской академии сельскохозяйственной наук (ТАСХН), Республика Таджикистан, г. Душанбе

#### Я.Э. ПУЛАТОВ

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Академии наук Республики Таджикистан (АН РТ), г. Душанбе

## ДИНАМИКА МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ИОННОГО СОСТАВА ОРОСИТЕЛЬНОЙ И КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНОЙ ВОДЫ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ ОБЪЕКТАХ СЕВЕРНОГО ТАДЖИКИСТАНА

*Приведены результаты многолетних наблюдений за минерализацией, химическим составом и качеством оросительных, коллекторно-сбросных, дренажных и грунтовых вод, что позволило выявить закономерности развития мелиоративной ситуации в пределах левобережья Кайраккумского водохранилища. Показано, что наиболее активно наблюдается рост минерализации оросительной воды, особенно в маловодные годы с изменением их химизма с гидрокарбонатно-сульфатного на хлоридно-сульфатный тип. Претерпевают изменения коллекторно-сбросные воды: в начальный период исследований (1970-1975) минерализация их составляла 2,5...2,8 г/л, а в последующем, в связи со стабилизацией природных процессов, сохраняется на уровне 1,8...2,2 г/л с переходом химического состава от хлоридно-сульфатного, магниевонариевого к кальциево-магниевый типу. Изучение динамики минерализации и ионного состава грунтовых вод на массиве показало, что в годы освоения сильнозасоленных земель и солончаков грунтовые воды имели высокую минерализацию (до 10,2 г/л в 1965 г.), затем наблюдается снижение до 4,0... 4,2 г/л в период строительства дренажа и постепенное уменьшение и стабилизация минерализации в пределах 3 г/л в результате упорядочения водопользования. Установлено, что по международным оценкам и мелиоративному показателю, оросительная вода имеет стабильное качество и неопасна с точки зрения натриевого осолонцевания почвы при орошении, однако возможен процесс магниевого осолонцевания. Коллекторно-сбросная вода более токсична, но в критические периоды ее можно использовать для орошения. Для предотвращения негативных процессов в почве рекомендуется применять циклическое орошение: чередование поливов речной водой с поливами водой из коллекторов.*

*Мониторинг, минерализация, качество, оценка, оросительная, коллекторная, грунтовая вода, осолонцевание, почва, орошение.*

**Введение.** Нарастающий дефицит водных ресурсов в Северном Таджикистане, связанный с региональной аридизацией климата и неравномерным распределением речного стока в годовом периоде, снижает водообеспеченность орошаемых земель в критические периоды. Перспективным направлением в решении данной проблемы является использование коллекторных и дренажных вод на орошение сельскохозяйственных культур. Исследования по данному вопросу в различных почвенно-климатических условиях стран Средней Азии проводятся давно, однако большинство из них краткосрочно (1-2 и реже в 3 года), что не позволяет судить о долгосрочном влиянии вод повышенной минерализации на изменения свойств почв и мелиоративное состояние орошаемых земель. Следует отметить, что воды повышенной минерализации используются на орошение во многих странах: Индии, Пакистане, Китае, Японии, Ираке, Афганиста-

не, Алжире и др. На хорошо дренированных легких песчаных почвах используется вода с минерализацией до 3-5 г/л плотного остатка и 50% солей хлоридного натрия.

**Материал и методы.** В Северном Таджикистане основным источником поливной воды является река Сырдарья. Многолетний мониторинг качества речной воды показал, что за последнее десятилетие в результате орошения минерализация воды в реке Сырдарья увеличилась с 0,2 до 1,0...1,54 г/л, в будущем это может привести к опасным последствиям. При этом изменяется не только минерализация, но и химический состав речной воды [1].

Перед вводом Кайраккумского водохранилища (1955 г.) и в первые годы его эксплуатации (1960 г.) минерализация поливной воды из реки была невысокой и составляла 0,61...0,72 г/л. Химический состав имел гидрокарбонатно-сульфатный, кальциево-магниевый тип (табл. 1).

Таблица 1

**Динамика минерализации и химического состава оросительной воды, мг-экв/л**

Годы	Сухой остаток, г/л	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
1955	0.61	2.5	1.25	4.8	2.5	3.0	3.1
1960	0.72	2.0	1.4	6.4	3.2	3.4	3.2
1965	1.21	3.0	3.0	14.6	5.7	4.8	7.1
1970	1.53	2.9	5.0	15.7	8.0	9.0	6.6
1975	1.84	4.0	6.0	18.8	10.0	9.6	9.2
1980	1.86	3.9	4.63	17.90	7.8	8.44	10.31
1985	1.47	3,7	4,9	14,3	7,8	11,9	3,2
1990	1.75	4.2	5.0	14.8	11.2	9.5	3.3
1995	1.71	4.3	4.9	14.4	11.0	9.2	3.4
2000	1.45	4.0	4.6	14.75	6.8	10.8	5.7
2005	1.29	1.6	3.8	12.8	6.8	6.3	5.5
2010	1.37	3.9	3.4	13.15	6.3	8.5	5.6

Дальнейшие наблюдения за минерализацией и солевым составом оросительной воды в пределах левобережья водохранилища показали, что наблюдается рост концентрации солей с изменением их химизма, особенно характерного для маловодных периодов. Так, в средние по водообеспеченности годы (2000-2005) минерализация увеличивалась до 1,29...1,47 г/л, или в 2,1...2,4 раза, в маловодные (1975 и 1995 гг.) – до 1,71...1,84 г/л, или в 2,8...3,0 раза.

Важно отметить, что повышение минерализации поливной воды происходит за счет нетоксичных сульфатов – CaSO<sub>4</sub>. При этом наблюдается переход с гидрокарбонатно-сульфатного типа на хлорид-

но-сульфатный тип, а кальциево-магниевый – на магниевый-кальциевый. Содержание катиона Na<sup>+</sup> колеблется в пределах 3,1...5,7 мг-экв/л с некоторыми повышениями в маловодные годы. За время мониторинга (1965-2010 гг.) отмечается изменение минерализации и химического состава коллекторных вод. В начальный период исследований (1970-1975 гг.) минерализация коллекторно-сбросных вод была достаточно высокой (2,5...2,81 г/л), однако с улучшением мелиоративного состояния территории, связанной со строительством дренажа и упорядочением поливов, отмечается стабилизация их минерализации на уровне 1,76...2,2 г/л (табл. 2).

Таблица 2

**Динамика минерализации и химического состава коллекторных вод, мг-экв/л**

Годы	Сухой остаток, г/л	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Сl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Са <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
1965	3.32	7.09	11.39	37.33	14.50	21.83	19.48
1970	2.81	6.39	9.58	25.83	12.55	15.83	13.42
1975	2.5	4.2	7.5	26.15	12.0	13.86	11.99
1980	2.77	4.5	9.0	25.82	14.0	12.21	13,11
1985	2.08	4,8	6,75	21,90	12,06	12,95	8,44
1990	2.01	4.4	5.63	19.39	11.89	13.60	4.93
1995	1.83	3.88	4.5	17.35	9.61	11.64	2.78
2000	1.76	5.0	5.5	17.45	8.3	13.69	5.96
2005	1.78	2.0	4.5	17.1	6.5	11.5	5.6
2010	1.96	3.6	5.21	20.74	6.8	15.7	7.05

Химический состав коллекторно-сбросных вод токсичнее, чем оросительной воды, и по химическому типу – хлоридно-сульфатный магниевно-натриевый с последующим переходом в кальциево-магниевый тип. Динамика минерализации коллекторно-сбросных и дренажных вод во многом зависит от объема водоподачи на орошение и качества грунтовых вод (минерализация и ионный состав). В формировании химического состава коллекторно-сбросных вод также значение имеют засоленность почв и пород зоны аэрации и величина суммарного испарения.

**Результаты исследований.** Полученные результаты исследований динамики минерализации и ионного состава грунтовых вод на орошаемом массиве показали, что в период освоения сильнозасоленных земель и солончаков (1965 г.) грунтовые воды имели высокую минерализацию – до 10,2 г/л (табл. 3).

В период строительства и ввода в эксплуатацию коллекторно-дренажной сети

(1975-1985 гг.) произошло снижение минерализации до 4,01...4,2 г/л. Последующее постепенное уменьшение минерализации до 2000 г. и повышение ее в последние годы объясняются упорядочением водопользования и увеличением доли эвапотранспирации в водном режиме массива.

По химическому составу грунтовые воды идентичны коллекторным водам и относятся при больших концентрациях к хлоридно-сульфатному натриево-магниевому типу, а при малых – к хлоридно-сульфатному кальциево-магниевому типу (табл. 3).

Сравнительная характеристика динамики минерализации оросительных, коллекторно-сбросных и дренажных вод представлена на рисунке.

Для орошаемых земель величина минерализация и химический состав оросительных, коллекторно-сбросных и грунтовых вод являются одним из основных факторов оценки мелиоративной оценки территории и формирования мелиоративного режима орошаемых земель [2].

Таблица 3

**Динамика минерализации и химического состава грунтовых вод, мг-экв/л**

Годы	Сухой остаток, г/л	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Сl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Са <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
1965	10,2	7,6	65,3	86,65	42,0	65,0	52,55
1970	7,68	6,39	51,50	60,20	20,00	55,80	42,29
1975	4.2	5.4	22.34	37.11	16.56	18.26	30.03
1980	4.05	5.16	17.83	38.51	16.13	20.31	25.00
1985	4,01	6,2	16,0	36,88	15,77	18,48	24,83
1990	3.82	6.39	12.39	43.33	15.50	25.83	20.78
1995	3.06	5.57	12.11	29.16	16.0	17.50	13.34
2000	2.89	7.03	10.42	30.62	15,9	16,83	15,32
2005	2.92	4.0	6.9	29.7	11.8	16.6	12,2
2010	3.16	5.77	13.16	34.10	16.83	20.52	15,68

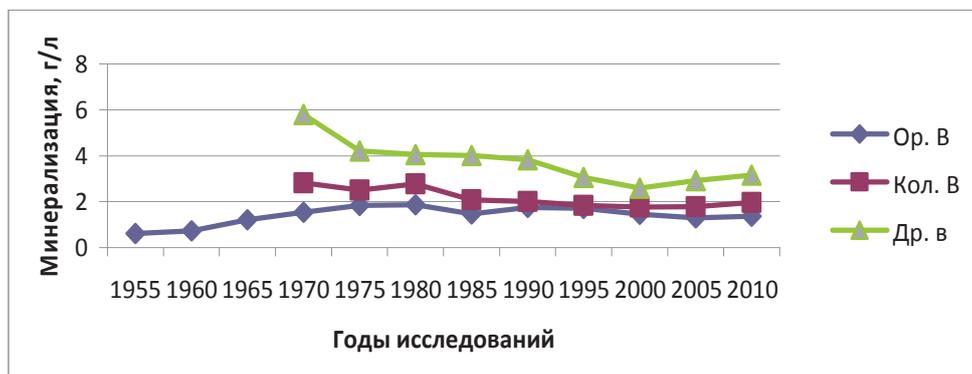


Рис. Динамика минерализации оросительных (Op.V), коллекторно-сбросных (Kol.V) и дренажных вод (Dr.V)

**Результаты и обсуждение.** Проведенный многолетний (1970-2010 гг.) мониторинг в зоне орошаемых земель левобережья Кайраккумского водохранилища за динамикой качества оросительных, коллекторно-сбросных, дренажных и грунтовых вод позволил выявить некоторые закономерности формирования мелиоративного режима орошаемых земель.

Установлено, что длительное орошение на массиве приводит к существенному снижению минерализации коллекторно-сбросных, дренажных и грунтовых вод с последующим ухудшением их качества. Это произошло за счет выноса солей с дренажным стоком с орошаемого массива. Повышение минерализации оросительной воды связано с увеличением доли минерализованных вод в питании реки.

Из рисунка следует, что за длительный период орошения на массиве наблюдается тенденция выравнивания уровней минерализации оросительных и грунтовых вод, а это указывает на стабилизацию мелиоративного режима.

В связи с дефицитом водных ресурсов в регионе и с учетом снижения минерализация коллекторно-сбросных вод с 90-х гг. прошлого столетия до 2 г/л, что незначительно выше воды в р. Сырдарья, выполнена оценка возможности использования коллекторно-дренажных вод для орошения сельскохозяйственных культур.

К настоящему времени накоплен большой научно-экспериментальный опыт по оценке качества оросительных вод, который может быть использован для прогнозирования влияния поливных вод того или иного качества на водно-физические, химико-биологические свойства почвы и их плодородие. И.Н. Антипов-Каратаев, Г.М. Кадер и П.А. Керзум [3], изучая качество оросительной воды, в связи с опасностью осолонцевания почвы предло-

жили формулу для определения критического отношения токсичных солей в зависимости от общей минерализации воды [4]:

$$(Ca^{2+} + Mg^{2+})/(Na^+) = KC, \quad (1)$$

где С – общая минерализация воды, г/л; К – коэффициент = 0,23; ионы  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  в мг-экв/л.

Для удобства пользования в практике вводится понятие мелиоративного показателя (МП) оросительной воды:

$$МП = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) : Na^+ / 0,23C. \quad (2)$$

Если  $МП > 1$ , вода вполне пригодна для длительного орошения.

Наличие в оросительной воде магния также снижает ее мелиоративную оценку, поэтому в случае значительного преобладания в воде ионов  $Mg^{2+}$  над  $Ca^{2+}$  критическое значение МП ее будет несколько выше 1. Следуя работам Антипова-Каратаева, Кадера и Керзума, мы оценили качество оросительной воды за годы наблюдений. Расчеты показали, что оросительная вода не представляет опасности осолонцевания почвы и может считаться пригодной для орошения, так как мелиоративный показатель (МП) больше единицы и находится в диапазоне от 5,71(1970) до 26,96 (1985). При этом качество коллекторно-сбросной воды ниже по сравнению с речной, т.к. орошение коллекторно-сбросными водами может вызывать опасность магниевое осолонцевания почв.

За последние годы (1990-2010) в регионе эта опасность возрастает, на что указывает увеличение на 19% площадей орошаемых земель с магниевым осолонцеванием. Поэтому при использовании коллекторно-сбросных вод на орошение целесообразно чередовать поливы речной водой с поливами водой из коллекторов. Широкий опыт использования для оро-

шения вод низкого качества в Индии, в том числе с применением аналогичных технологий, представлен в исследованиях [5].

Мелиоративный показатель дренажных вод близок к показателю коллекторных вод, так как в формировании коллекторного сброса основная роль принадлежит дренажным водам, однако их минерализация составляет выше 3 г/л. По источникам литературы, воды такой минерализации для орошения использовать не рекомендуется [6].

В случае острого дефицита оросительной воды в отдельные, не критические для развития сельскохозяйственных растений периоды, дренажные воды можно использовать для полива с разбавлением речными или коллекторными водами.

### Выводы

1. Выявлены закономерности динамики минерализации и ионного состава оросительных, коллекторно-сбросных и дренажных вод, связанные с этапами освоения массива под орошение. В период до ввода в эксплуатации Кайракумского водохранилища на массиве орошение проводилось повышенными оросительными нормами 14,8 тыс. м<sup>3</sup>/га, с невысоким поверхностным сбросом 6 тыс. м<sup>3</sup>/га и незначительным подземным оттоком 2 тыс. м<sup>3</sup>/га; минерализация оросительной воды плавно повышалась с 0,6 до 1,5 г/л и соответствовала предъявляемым требованиям.

2. Период строительства коллекторно-дренажной сети (1962-1970 гг.) характеризуется увеличением коллекторно-дренажного сброса более чем в 3 раза. За счет подземного притока и расширения орошаемых площадей подземные воды поднимались и растворяли соли в зоне аэрации. В этот период минерализация подземных вод достигла 10 г/л, а коллекторно-сбросных – более 3 г/л.

3. После завершения основных работ на массиве по мелиорации орошаемых и сильнозасоленных земель и солончаков (1971-1975 гг.) водный баланс претерпевает некоторые изменения: отмечается увеличение объема дренажного стока на 18 млн м<sup>3</sup> и снижение суммарного испарения на 6 млн м<sup>3</sup>. Фактический модуль дренажного стока горизонтальных дрен в период исследования в среднем составил 0,26 л/с га, что в 2...3 раза меньше отвода воды по коллекторной сети, поэтому минерализация коллекторно-дренажных вод начинает снижаться до 2,5 г/л.

4. Было установлено, что после 1995 г. наблюдалась стабилизация минерализации коллекторно-сбросных вод на уровне 2,0 г/л. Минерализация оросительной воды в средние по водообеспеченности годы (2000-2005 гг.) увеличивалась до 1,29...1,47 г/л, или в 2,1...2,4 раза, в маловодные (1975 и 1995 гг.) – до 1,71...1,84 г/л, или в 2,8...3,0 раза. При этом наблюдалось ухудшение качества воды.

5. Выполнена оценка качества оросительных и коллекторно-сбросных вод и установлена возможность использования коллекторно-сбросных вод на орошение сельскохозяйственных культур в периоды критического дефицита водных ресурсов.

### Библиографический список

1. Юлдашев Х.У., Насруллоев А. Динамика минерализации поливных вод и влияние их на деградации орошаемых почв // Кишоварз. 2015. № 4. С. 14-16.
2. Кирейчева Л.В., Яшин В.М. Методология исследования мелиоративного режима орошаемых и осушаемых земель // Евразийский союз ученых. 2014. № 4 13. С. 51-54.
3. Керзум П.А. Солевые параметры орошаемых почв // Труды Таджикского НИИ почвоведения. Т. 30. Душанбе: Дониш, 1988. С. 3-27.
4. Киреев В.К., Бодрухина А.Г. Оценка качества подземных и дренажно-сбросных вод для орошения // Труды Таджикского НИИ почвоведения. Т. 29. Душанбе: Дониш, 1988. С. 15-24.
5. Яшин В.М. Использование вод низкого качества для орошения в Индии // Сб. тр. Международной юбилейной конференции ВНИИГиМ «Комплексные мелиорации – основа повышения продуктивности сельскохозяйственных земель». М.: ВНИИА, 2014. С. 205-212.
6. Кирейчева Л.В. Основные направления снижения антропогенной нагрузки на водные объекты за счет уменьшения сброса дренажных вод с мелиорируемых территорий // Природообустройство. 2015. № 5. С. 64-69.

Материал поступил в редакцию 27.01.2017 г.

### Сведения об авторах

**Пулатов Яраш Эргашевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий отделом инновационных технологий и научно-образовательных исследований ИВПГиЭ АН РТ, Республика Таджикистан, 734042 г. Душанбе, ул. Айни 14«а»; тел.: (+992) 919947556; e-mail: tj\_water@mail.ru

**Юлдашев Хаким Урунбаевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, учёный секретарь Согдийской опытной почвенно-мелиоративной

станции ТАСХН, Республика Таджикистан, 734025 г. Душанбе, проспект Рудаки, 21а; тел.: (+992) 927342196, e-mail: sopms1970@mail.ru

#### **H.U. YULDASHEV**

Sogdijskaya experimental soil-land reclamation station of the Institute of soil science of the Tajik academy of agricultural sciences (TAAS), Republic of Tajikistan, Dushanbe

#### **YA.E. PULATOV**

Institute of water problems, hydropower engineering and ecology of the Academy of sciences of Republic of Tajikistan (AS RT), Dushanbe

## **DYNAMICS OF MINERALIZATION AND ION CONTENTS IN THE IRRIGATION WATER AND COLLECTOR-DRAINAGE FLOW ON LAND RECLAMATION PROJECTS IN THE NORTHERN TAJIKISTAN**

*The data of the long-term observations concerning the salinity, chemical composition as well as the quality of the irrigation collector-drainage and ground water which provide the description of the mode of the development of irrigation for the left shore of the Kayrakkum reservoir are given in the paper. The highest increase in salinity of irrigation water is observed in dry years when the chemical composition of water is changed from bicarbonate-sulphate to chloride-sulphate type. During the initial period of study (1970-1975) collector and drainage flow: was 2.5-2.8 g/l, and then it is retained at the level of 1.8-2.2 g/l with the transition from chloride-sulphate, magnesium-sodium into the calcium-magnesium type due to stabilization of the natural processes. The study of mineralization and ionic composition in groundwater on the plot showed that ground water was highly saline (up to 10.2 g/l in 1965) during the development of strongly saline lands, later, a decrease in salinity (up to 4.0-4.2 g/l) was observed during drainage construction and a gradual reduction, stabilization of mineralization (within 3g/l) occurred as a result of water management. Thus according to international standards and the irrigation index the irrigation water has stable quality and it can't cause sodium alkalization of soil, however, it is possible to cause magnesium alkalization of soil, because drainage flow is more toxic, but it can be used for irrigation purposes during critical periods. To prevent negative processes in the soil it is recommended to use cyclic irrigation using river water and water from the water reservoirs alternately.*

*Monitoring, salinity, quality, estimation, irrigation, drainage, ground water, alkalization, soil.*

#### **References**

1. Yuldashev H.U., Nasrulloev A. Dinamika mineralizatsii polivnyh vod i vliyanie ih na degradatsii oroshaemyh pochv // Kishovarz. 2015. № 4. S. 14-16.
2. Kirejcheva L.V., Yashin V.M. Metodologiya issledovaniya meliorativnogo rezhima oroshaemyh i osushaemyh zemel // Evrazijsky soyuz ucheny. 2014. № 413. S. 51-54.
3. Kerzum P.A. Solevye parametry oroshaemyh pochv // Trudy Tajikskogo NII pochvovedeniya. T. 30. Dushanbe: Donish, 1988. S. 3-27.
4. Kireev V.K., Bodruhina A.G. Otsenka kachestva podzemnyh i drenazhno-sbrosnyh vod dlya orosheniya // Trudy Tajikskogo NII pochvovedeniya. T. 29 Dushanbe: Donish, 1988. S. 15-24.
5. Yashin V.M. Ispolzovanie vod nizkogo kachestva dlya orosheniya v Indii // Sb. tr. Mezhdunarodnoj yubilejnoj konferentsii VNIIGiM «Kompleksnye melioratsii – osnova povysheniya produktivnosti sel'skokozyajstvennyh zemel». M.: VNIIA, 2014. S. 205-212.

6. Kirejcheva L.V. Osnovnye napravleniya snizheniya antropogennoj nagruzki na vodnye objekty za schet umen'sheniya sbrosa drenazhnyh vod s melioriruemyh territorij // Prirodoobustrojstvo. 2015. № 5. S. 64-69.

The material was received at the editorial office  
27.01.2017

#### **Information about the authors**

**Pulatov Yarash Ergashevich**, doctor of agricultural sciences, professor, head of the department of innovation technologies and scientific-educational research IVPGiE AN RT, Republic of Tajikistan, 734042 Dushanbe, ul. Aini 14«a»; tel.: (+992) 919947556; e-mail: tj\_water@mail.ru

**Yuldashev Hakim Urunbaevich**, candidate of agricultural sciences, academic secretary of the Sogdijskoy soil-reclamation station TASHN, Republic of Tajikistan, 734025 Dushanbe, prospect Rudaki, 21a; tel.: (+992) 927342196, e-mail: sopms1970@mail.ru

УДК 502/504:630\*5

**В.К. ХЛЮСТОВ**

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

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОЕНИЯ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ МЕТОДОМ РЕГРЕССИЙ**

*Представлена принципиально новая методика моделирования возрастной динамики распределения числа деревьев по классам толщины. Для разработки методики использованы непараметрические методы распределения случайных величин в сочетании с методами парной и множественной регрессии. Изложены приёмы пошаговой реализации методики сглаживания эмпирических частот рядов распределения по 10 классам толщины деревьев. На первом шаге выявляется размах варьирования диаметров деревьев в зависимости от среднеквадратического диаметра древостоев по степенному уравнению регрессии, что характеризует масштаб ряда распределения. На втором шаге моделируется показатель формы распределения – ранг деревьев в середине ряда в зависимости от среднеквадратического, минимального и максимального диаметров древостоя. На третьем шаге для каждого из 10 классов по регрессиям рассчитывается накопленная частота ряда и непосредственно теоретическая кривая распределения числа деревьев по классам толщины. Динамика строения древостоев достоверно отображается сочетанием моделей и таблиц хода роста древостоев с регрессиями масштаба и формы рядов распределения. Предложенная методика моделирования кривых распределения позволила охватить весь возможный для сосновых древостоев диапазон масштаба и форм кривых распределения, о чём свидетельствуют предельные значения ранга деревьев в середине вариационного ряда ( $\lim R_5 = 40 \div 90\%$ ). Предлагаемые к практическому использованию модели возрастной динамики роста, строения и продуктивности древостоев позволяют увязать весь набор разрозненных лесотаксационных нормативов в единую информационно-справочную систему.*

*Динамика строения древостоев, параметрические и непараметрические методы распределения частот, статистические показатели, квантили, размах варьирования, масштаб и форма распределения.*

**Введение.** Оценка качественного состояния лесов базируется на знании закономерностей роста и строения древостоев, которые определяют динамику их продуктивности. Под закономерностями строения древостоев понимается распределение числа деревьев, суммы площадей сечения, запаса, категорий крупности, дровяной древесины, фракционного состава фитомассы в размахе варьирования размера деревьев и, прежде всего, по толщине. Изучение динамики формирования структуры этих показателей в древостоях разной начальной густоты по типам ле-

сорастительных условий имеет исключительно важное значение для выбора наиболее продуктивных, с лучшими товарными характеристиками древостоев. А это в свою очередь позволяет скорректировать и оптимизировать режим промежуточного и главного лесопользования, построить модели прогнозирования производительности лесов. Наряду с этим знание закономерностей динамики строения древостоев является теоретической основой разработки методов таксации и учёта лесного и лесосечного фонда, формирования товарно-денежного потенциала лесов.

Существующие методы строения древостоев подробно изложены в работе А.А. Макаренко (1982), цитируя которого, следует указать на три направления исследований [1].

Развитие первого направления нашло отражение в работах Вейзе, Вимменауера, Гуттенберга и Гергардта (1880-1901), предусматривающих аппроксимацию рядов распределения числа деревьев по их размерам (прежде всего, толщине) с нахождением места среднего дерева в насаждении и анализ редуцированных чисел, т.е. отношение размеров стволов деревьев, занимающих определённое место в древостое, к среднему диаметру ряда распределения. Дальнейшую модификацию направление получило в трудах А.В. Тюрина (1923, 1931), который выразил величину ступеней таксационного признака в долях среднего значения. Десять доли полученных ступеней им названы естественными ступенями толщины. Метод естественных ступеней широко использовался в отечественных лесотаксационных исследованиях.

Второе направление обосновано Шиффелем в 1903 г. Он также при построении редуцированных чисел использовал метод индексов. Этот подход при изучении строения древостоев широко применялся до настоящего времени. На его основе Н.В. Третьяков (1927) сформулировал так называемый закон единства строения насаждений, по которому положением деревьев в древостое (их рангам) определяется вся внутренняя структура древостоя и свойства составляющих его деревьев. В обобщённом виде закономерности строения освещены Н.П. Анучиным (1971) и сформулированы следующим образом: в спелых, естественно-сформировавшихся нормальных насаждениях, состоящих из одного элемента леса, распределение деревьев по ступеням толщины характеризуется симметричной одновершинной кривой, близкой к кривой нормального распределения. Среднее по толщине дерево древостоя занимает строго определенное место. Число деревьев тоньше среднего диаметра составляет 58% от общего их числа, а толще – 42%.

В молодняках или насаждениях, пройденных рубками ухода по низовому методу, вершина кривой смещается вправо, в сторону толстых ступеней, а в древостое, пройденном выборочными рубками, проявляется левосторонняя асимметрия.

Если средний диаметр древостоя  $D_{cp}$  принять за 1,0, то редуцированное число  $R_d$  самых тонких его деревьев равно половине среднего диаметра  $0,5 D_{cp}$  (по другим данным,  $0,4 D_{cp}$ ), а самых толстых –  $1,7 D_{cp}$  (в молодняках  $2...2,5 D_{cp}$ ), т.е. самое толстое дерево в древостое примерно в 4 раза толще самого тонкого. Таким образом, все число стволов, по данным А.В. Тюрина, укладывается в рамки 13 естественных ступеней толщины.

Анализ многочисленных данных по изучению строения древостоев показал, что метод естественных ступеней не является наилучшим при исследовании рядов распределения, так как к ним нельзя применять критерий «Хи-квадрат».

По рекомендации А.А. Макаренко, следует использовать метод исследования с постоянным числом классов, равным 10. Такое число отвечает требованиям математической статистики, обеспечивает нахождение достоверных параметров или статистик рядов распределения при минимально возможном числе наблюдений.

К третьему направлению исследований относятся параметрические методы распределения, которые представлены четырёхпараметрическими кривыми Шарлье (тип А) и более совершенными типами распределения К. Пирсона с параметрами: средней арифметической ( $X_{cp}$ ), стандартного отклонения ( $\sigma$ ), асимметрией ( $As, r_3$ ), эксцессом ( $E, r_4$ ). Теоретические модели указанных распределений используются в основном в научных работах для сглаживания эмпирических частот. Ограниченность такого использования не решает задачи возрастных изменений в строении древостоев, которые должны быть увязаны с таблицами хода роста и возрастной динамики древостоев с разной начальной густотой.

**Материал и методы.** Современные методы изучения строения древостоев базируются на выявлении взаимосвязей статистик рядов распределения с таксационными показателями насаждений. При этом весь процесс исследования можно разделить на три этапа. На первом этапе осуществляется:

- 1) представление эмпирических частот распределения деревьев по ступеням толщины;
- 2) расчёт статистических показателей рядов распределения: среднего арифмети-

ческого диаметра ( $D$ ), среднеквадратического отклонения ( $\sigma$ ); показателей асимметрии ( $Ac$ ) и эксцесса ( $E$ ); ошибок репрезентативности статистических показателей ( $\pm m_D$ ,  $\pm m_\sigma$ ,  $\pm m_{Ac}$ ,  $\pm m_E$ );

3) расчёт теоретических (выравненных) частот по различным типам кривых с выявлением кривой, наиболее точно описывающей эмпирический ряд.

На втором этапе осуществляется выравнивание статистических показателей рядов распределения от возраста и других таксационных показателей древостоев. Так, В.В. Кузьмичёв (1977) при изучении строения древостоев использовал уравнения регрессии вида:

$$D = e^{3,88} A^{0,35} N^{-0,36}; R^2 = 0,962$$

$$\sigma = 2,78 A^{0,42} N^{-0,12}; R^2 = 0,515$$

$$Ac = 1,869 D^{0,69} \sigma^{0,25} H^{0,52}; R^2 = 0,334$$

$$E = 1,363 Ac^2 - 0,19 Ac - 0,517; R^2 = 0,601$$

где  $A$  – возраст, лет;  $N$  – густота, шт/га;  $H$  – средняя высота, м;  $R^2$  – коэффициент детерминации [2].

А.А. Макаренко (1987), совершенствуя методы прогнозирования продуктивности древостоев, рекомендует при расчёте численных коэффициентов регрессий статистик рядов распределения использовать функционалы вида:

$$D = f(D_{\text{скв}}; \sigma); \sigma = f(A, N, H_{40}, \Pi, D_{\text{скв}});$$

$$Ac = f(A, D_{\text{скв}}, H_{40}, \Pi, N); E = f(Ac),$$

где  $D_{\text{скв}}$  – среднеквадратический диаметр, см;  $\Pi$  – полнота древостоя, ед.;  $H_{40}$  – средняя высота древостоя в 40 лет [3].

На третьем этапе осуществляется расчёт теоретических частот распределения по данным статистик, определённых по регрессиям, полученным на втором этапе методики. Примером реализации третьего этапа может служить публикация А.А. Макаренко, А.И. Колтуновой, Е.А. Рапп (1978), в которой описана возможность построения теоретических кривых на основе семейства кривых Пирсона [4]. Однако следует отметить, что моделируемые статистические показатели, рассчитанные с ошибками ( $\pm m_D$ ,  $\pm m_\sigma$ ,  $\pm m_{Ac}$ ,  $\pm m_E$ ), на втором этапе выравниваются уравнениями множественной регрессии с невысокой теснотой связи ( $R^2 = 0,334-0,601$ ),

что, соответственно, указывает на существенные отклонения теоретически полученных значений от фактических. Это несоответствие в конечном счёте сказывается на результатах расчёта теоретических рядов распределения как по форме, так и по масштабу распределений.

Использование непараметрического метода представления кривых распределения частот основано на квантилях вариационного ряда. Методика аппроксимации эмпирических частот теоретическими распределениями Джонсона и В.К. Хлюстова (2010) изложена в учебном пособии [5].

Материалом для разработки новых методических положений и теоретических моделей строения сосновых древостоев служили перечёты на 240 постоянных и временных пробных площадях, заложенных в разных лесорастительных условиях Центрального лесотаксационного района, а также теоретические ряды распределения из лесотаксационных справочников.

**Результаты и обсуждение.** Работа является фрагментом исполнения Государственного контракта с Федеральным агентством лесного хозяйства № МГ-06-06/63к от 3 июля 2007 г. по теме «Разработка методических рекомендаций и нормативов актуализации таксационных показателей древостоев для основных лесобразующих пород по лесным районам», выполненным под руководством автора статьи [6].

Сложные математические представления изложенных моделей распределения, хотя зачастую и демонстрируют положительные результаты аппроксимации эмпирических распределений, всё же называть их в полной мере приемлемыми для отображения возрастной динамики древостоев нельзя. В основном существующие нормативы распределения частот оторваны от возрастной динамики древостоя, а следовательно, не позволяют решать задачи, связанные с возрастной аппроксимацией структуры товарной продуктивности древостоев.

Поставленная задача моделирования возрастных изменений в строении древостоев была решена принципиально новыми методами. Для этого пришлось отказаться от параметрических методов моделирования строения древостоев и перейти на простые и более надёжные оценки рядов по параметрам масштаба и формы рядов распределения. В качестве масштабной

составляющей были использованы среднеквадратический ( $D_{\text{скв}}$ ), максимальный ( $d_{\text{max}}$ ) и минимальный ( $d_{\text{min}}$ ) диаметры древостоев в ряду с десятью классовыми промежулками:

$$d_{\text{max}} = 3,8157D^{0,7766}; R^2 = 0,986$$

$$d_{\text{min}} = 0,0896D^{1,323}; R^2 = 0,947$$

В качестве показателя формы предлагается использовать не асимметрию (As или r3) и не эксцесс (E или r4), а процент накопленной частоты в 5-м классе вариационного ряда ( $R_V$ ). Для отображения формы ряда

распределения следует воспользоваться регрессией вида:

$$R_V = \exp(5,24472 + 0,17793 \ln d_{\text{min}} - 0,29143 \ln^2 D_{\text{скв}} - 0,87059 \ln d_{\text{max}} + 0,33622 \ln^2 d_{\text{max}})$$

$$R^2 = 0,995; t > t_{05} = 2,0; F = 632,0.$$

Для расчёта значений накопленной частоты по каждому из 10 классовых промежулков ряда распределения следует воспользоваться регрессиями вида:

$$R_{I-IV} = a \exp(bR_V) \text{ для I-IV классов}$$

$$\text{и } R_{VI-X} = a (R_V)^b \text{ для VI-X классов, сведёнными в таблицу.}$$

Таблица

**Численные коэффициенты уравнений регрессии**

Класс	Коэффициент регрессии		Класс	Коэффициент регрессии	
	a	b		a	b
I	0,00002	0,1058	VI	11,435	-0,5275
II	0,0020	0,0621	VII	41,619	-0,8089
III	0,0400	0,0323	VIII	75,644	-0,9393
IV	0,2869	0,0125	IX	94,009	-0,9865
V	1,0	1,0	X	100,000	-1,0000

Построением моделей изменения относительной накопленной частоты по классам толщины деревьев от ранга деревьев в 5-м классе были получены кривые изменения формы распределения (рис. 1, 2).

Получением взаимосвязей  $d_{\text{min}}$ ,  $d_{\text{max}}$  со среднеквадратическим диаметром, а затем  $R_V$  с этими тремя показателями масштаба рядов получаем накопленное распределение частот в каждом из 10 классов толщины

деревьев. Именно этот методический прием позволяет состыковать модель возрастной динамики среднего диаметра и числа стволов с распределением деревьев по толщине во всем диапазоне продуктивности, полноты древостоев. Для наглядности изложенного на рисунках 3 и 4 показаны итоговые фрагменты решения поставленной задачи моделирования возрастной динамики строения древостоев.

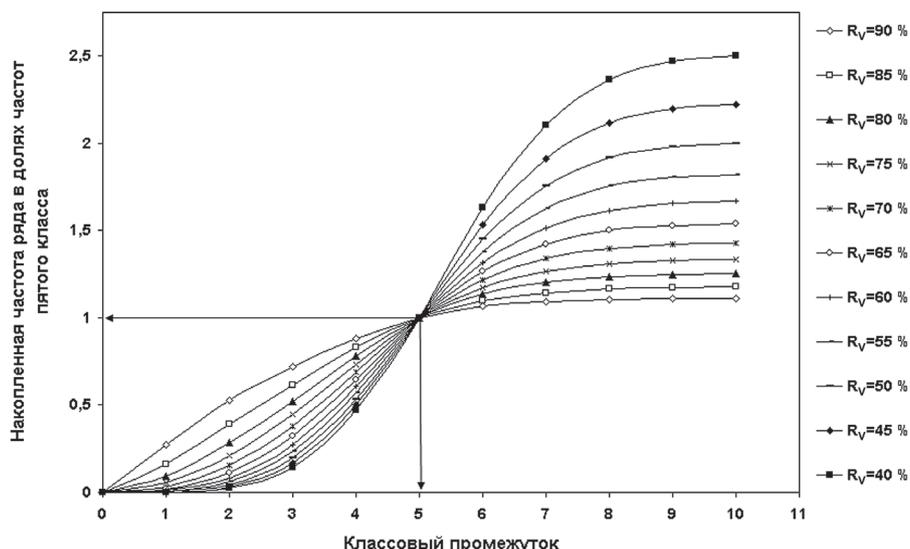


Рис. 1. Изменение относительной накопленной частоты по классовым промежулкам сосновых древостоев при разном ранге деревьев в пятом классе

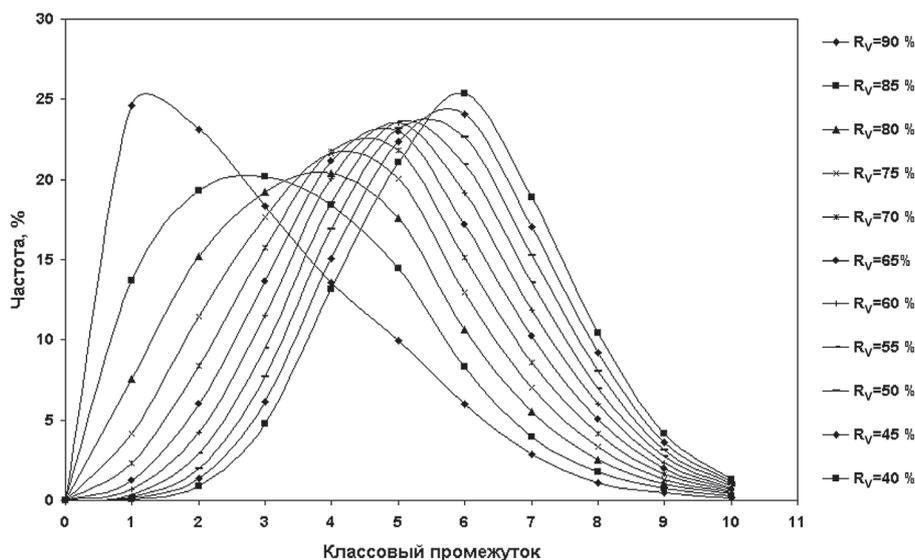


Рис. 2. Распределение частот по классовым промежуткам сосновых древостоев при разном ранге деревьев в пятом классе

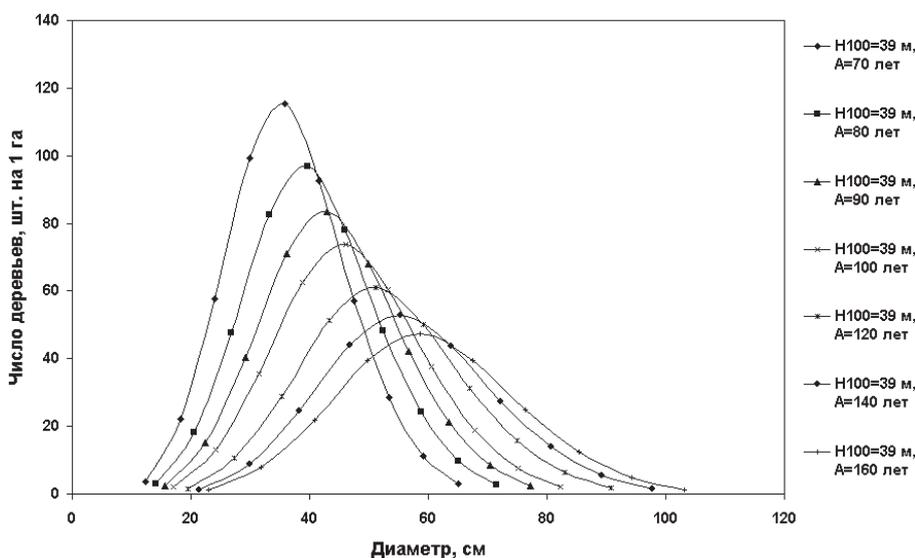


Рис. 3. Распределение числа деревьев по классам толщины деревьев в сомкнутых сосновых древостоях различного возраста (70-160 лет) при  $H_{100} = 39$  м

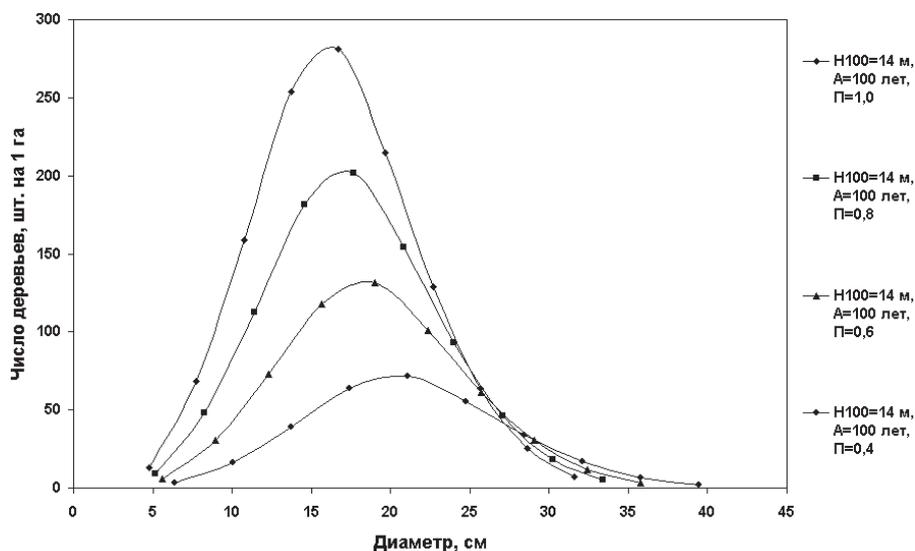


Рис. 4. Распределение числа деревьев по классам толщины деревьев в сосновых древостоях 100-летнего возраста с разной полнотой при  $H_{100} = 14$  м

### Заключение

1. Приведенные результаты убедительно указывают на правомерность использования непараметрических методов представления вариационных рядов в сочетании с пошаговыми методами регрессий, описывающими масштаб и форму распределений в разрезе 10 классовых промежутков. В отличие от параметрических методов распределений предложенные решения значительно надежней и позволяют увязать в единый системный комплекс лесотаксационных нормативов ход роста, строение, общую, товарную и биологическую продуктивности древостоев разных уровней продуктивности и густоты.

Динамика строения древостоев достоверно отображается сочетанием моделей и таблиц хода роста древостоев с регрессиями масштаба и формы рядов распределения.

Масштаб кривых распределения описывается степенными (аллометрическими) уравнениями связи минимального и максимального диаметра деревьев со среднеквадратическим диаметром древостоя ( $R^2 = 0,947-0,984$ ).

Форма кривых распределения характеризуется значением ранга деревьев в середине вариационного ряда (в V классе).

Ранг деревьев в середине вариационного ряда имеет тесную взаимосвязь с параметрами масштаба ряда: среднеквадратическим диаметром древостоя, минимальной и максимальной толщиной деревьев ( $R^2 = 0,995$ ).

Предложенная методика моделирования кривых распределения позволила охватить весь возможный для сосновых древостоев диапазон масштаба и форм кривых распределения, о чём свидетельствуют предельные значения ранга деревьев в середине вариационного ряда ( $\lim R_v = 40 \div 90\%$ ).

Предлагаемые к практическому использованию модели возрастной динамики

роста, строения и продуктивности древостоев позволяют увязать весь набор разрозненных лесотаксационных нормативов в единую информационно-справочную систему.

### Библиографический список

1. Макаренко А.А. Строение древостоев. Алма-Ата: Кайнар, 1982. 68 с.
2. Кузьмичёв В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977. 160 с.
3. Макаренко А.А. Рекомендации по прогнозированию продуктивности древостоев, утв. Минлесхозом КазССР 22.09.1987 г. Алма-Ата: Минлесхозом КазССР, 1987. 19 с.
4. Макаренко А.А., Колтунова А.И., Рапп Е.А. О возможности применения семейства кривых Пирсона в лесоводственных исследованиях / Сб. «Интенсификация лесного хозяйства Казахстана»: Тр. КазНИИЛХА. Т.Х. Алма-Ата: «Кайнар», 1978.
5. Хлюстов В.К. Методическое пособие по выполнению курсовой работы учебной дисциплины системный анализ и моделирование экосистем. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2010. 177 с.
6. Хлюстов В.К. Разработка методических рекомендаций и нормативов актуализации таксационных показателей древостоев для основных лесобразующих пород по лесным районам. Шифр 23-ИО. Заключительный отчёт об итогах научной работы по Государственному контракту № МГ-06-06/63к от 3 июля 2007 г. 219 с.

Материал поступил в редакцию 09.02.2017 г.

### Сведения об авторе

**Хлюстов Виталий Константинович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и мелиорации ландшафтов, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: +79035269073; e-mail: vitakhlustov@mail.ru

**V.K. KHLUSTOV**

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

## PINE STAND TEXTURE SIMULATION BY THE METHOD OF REGRESSIONS

*There is presented a principally new modeling method of age dynamics of tree number distribution according to a thickness class. For the development of the method there were used nonparametric methods of random variables distribution together with the methods of two-dimensional and multiple regressions. There are stated stepped realization methods of smoothing empirical frequencies of distribution on the basis of 10 classes of tree thickness.*

*At the first step there is revealed a range of tree diameters depending on a mean-square diameter of stands by the exponential equation of regression which characterizes the row distribution scale. At the second step there is simulated a distribution indicator – trees rank in the middle of the row depending on the mean-square, minimal and maximal diameters of tree stands. At the third-step for every of 10 regression thickness classes there is calculated an accumulated frequency of the row and theoretical curve of tree number distribution according to the thickness class. The dynamics of a tree stands texture is reliably reflected by a combination of models and tables of stands growth with regressions of the scale and form of distribution rows. The proposed method of curve distribution simulation allowed to cover the whole possible scale range and forms of distribution curves which is proved by limited tree rank values in the middle of the variation row ( $\lim R_5 = 40 \div 90\%$ ). The proposed models of age growth dynamics and stand productivity let unite all separated forest inventory standards into a single information-reference system.*

*Dynamics of stands texture, parametric and non-parametric methods of frequencies distribution, statistical indices, fractiles, range of variability, distribution scale and structure.*

### References

1. Makarenko A.A. Stroenie drevostoev. Alama-Ata: Kainar, 1982. 68 s.
2. Kuzjmichev V.V. Zakonomernosti rosta drevostoev. Novosibirsk.: Nauka, 1977. 160 s.
3. Makarenko A.A. Rekomendatsii po prognozirovaniyu productivnosti drevostoev, utv. Minleskhozom KazSSR 22.09.1987 g. Alama-Ata: Minleskhozom KazSSR, 1987. 19 s.
4. Makarenko A.A., Koltunova A.I., Rapp E.A. O vozmozhnosti primeneniya semeistva krivyh Pirsona v lesovodstvennyh issledovanuyah / Sb. «Intensificatsiya lesnogo hozyaistva Kazakhstana»: Tr. KazNIILHA T.H. Alama-Ata: «Kainar», 1978.
5. Khlyustov V.K. Metodicheskoe posobie po vypolneniyu kursovoj raboty uchebnoj distsipliny sistemny analiz i modelirovanie ekosistem. M.: Izd-vo RGAU-MSHA im. C.A. Timiryazeva, 2010. 177 s.

6. Khlyustov V.K. Razrabotka metodicheskikh rekomendatsij i normativov actualizatsii taksatsionnyh pokazatelej drevostoev dlya osnovnyh lesoobrazuyushchih porod po lesnym rajonom. Shifr 23-IO. Zaklyuchiteljny otchet ob itogah nauchnoj raboty po Gosudarstvennomu contractu № MG-06-06/63K ot 3 iyulya 2007 g. 219 s.

The material was received at the editorial office  
09.02.2017

### Information about the author

**Khlyustov Vitalij Konstantinovich**, doctor of agricultural sciences, professor of the chair of forestry and landscapes reclamation, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d. 49; tel.: +79035269073; e-mail: vitakhlustov@mail.ru

УДК 502/504: 639.31

**В.А. ВЛАСОВ**

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

**Н.И. МАСЛОВА, Г.Е. СЕРВЕТНИК**

Государственное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт ирригационного рыбководства,  
Ногинский р-н, Московская область, Российская Федерация»

## **МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАТОЧНОГО ПОГОЛОВЬЯ РАСТИТЕЛЬНОЯДНЫХ РЫБ РЫБХОЗА «ЕРГЕНИНСКИЙ»**

*Рассмотрен общий анализ состояния племенной работы с растительноядными рыбами в рыбхозе «Ергенинский». Материалы обзора данных литературы и собственных исследований свидетельствуют о неудовлетворительном состоянии работ по отношению к указанным видам. В результате проведенной комплексной оценки выявлены низкие продуктивные качества ремонтного молодняка и производителей растительноядных рыб. Для улучшения состояния племенной работы с этими рыбами необходимо провести ряд организационных мероприятий: отработать методику отбора и подбора производителей растительноядных рыб, используемых в племенных целях; изучить их экстерьерные и воспроизводительные качества и установить по этим показателям классность рыб; разработать методы содержания и выращивания ремонтного молодняка и производителей, начиная с возраста сеголеток. Для освежения крови требуется завоз в хозяйства, занимающиеся племенной работой, неродственных групп растительноядных рыб на стадии личинки известного происхождения из районов естественного ареала. По аналогии с племенной работой с карпом можно рекомендовать при отборе в ремонтное и маточное поголовье растительноядных рыб использование особей с высоким показателем аланинаминотрансферазы (АЛТ) в крови.*

*Растительноядные рыбы, белый амур, белый толстолобик, пестрый толстолобик, производители, экстерьерные признаки, морфологические показатели, кровь, икра, сперма, плодовитость.*

**Введение.** В Госреестр селекционных достижений РФ (2016) внесены одомашненные формы амура белого (*Stenopharyngodon idella*), толстолобика белого (*Hypophthalmichthys molitrix*) и пестрого (*Hypophthalmichthys nobilis*). В аквакультуре РФ были выведены 2 породы белого толстолобика, однако они потеряли свой статус, так как с ними в дальнейшем не проводилась требуемая селекционно-племенная работа.

Анализ состояния маточных стад в рыбхозах Ставропольского, Краснодарского краев и Волгоградской области показал, что во всех хозяйствах ремонтное поголовье формируется часто не из сеголетков, а из двухлетков, которые выращиваются

в поликультуре с карпом при кормлении комбикормом. При этом не учитываются данные происхождения и возраста [1, 2]. При улучшении условий выращивания рост ремонтных сеголетков растительноядных рыб повышается, при этом снижается вариативность длины и массы тела, а асимметрия переходит от положительных значений к отрицательным. Наиболее изменчивым является индекс прогонистости тела: коэффициент вариации достигал 42,7% [3]. Аналогичные данные получены относительно карпа [4]. Выявлено, что морфо-физиологические показатели у рыб зависят не только от условий выращивания, но от возраста, происхождения и уровня селекции.

При формировании маточных стад пестрого и белого толстолобиков на юге Украины при двухлинейном разведении выращивание сеголетков проводится при плотности посадки 25-80 тыс. шт/га, а двухлетков – при 1000-1200 шт/га [5].

В. Поляруш [6] и В.П. Иванова [7] рекомендуют при отборе рыб в племенное стадо отдавать предпочтение тем особям, которые при прочих равных условиях имеют больший обхват и длину тела, так как эти признаки имеют большое селекционное значение.

При формировании маточных стад в условиях Молдавии основными методами при формировании племенного стада были отбор и выращивание личинок от высокоплодовитых и рано созревающих самок белого и пестрого толстолобиков, а также отбор наиболее крупных по массе годовиков [8].

В практике разведения растительноядных рыб возникла острая необходимость разработки более совершенной системы селекционно-племенной работы, отвечающей требованиям современного производства.

**Материал и методы.** Основным материалом по оценке производителей растительноядных рыб послужили данные 2-летних исследований, выполненные в рыбхозе «Ергенинский» Волгоградской области. Маточное поголовье производителей состояло из 360 гол. 6-9-летнего возраста трех видов. В работе использованы общепринятые в рыбоводстве и ихтиологии методы. Икра оценивалась по морфо-метрическим показателям, а качество спермы – по соотношению живых и мертвых сперматозоидов. Лейкоцитарная формула определена по методике И.Г. Ивановой [7], а формула аланинаминотрансферазы – по Умбрайт-Пасхиной. Материал подвергнут биометрической обработке.

**Результаты и обсуждение.** Анализ показал, что отбор в ремонтное поголовье в хозяйстве проводится из особей, выращенных в нагульных прудах, что, естественно, сказывается на качестве производителей. При заводском методе воспроизводства было использовано не более десяти самцов, что может вызвать предположение о высокой инбредной депрессии в маточном стаде.

Внутри каждого вида производители характеризовались однородностью по массе тела и экстерьерным показателям. Масса самок всех трех видов значительно превышает массу самцов. Наиболее значительные различия отмечены у белого амура (4,4 кг), у пестрого толстолобика она состав-

ляла 3,3 кг, у белого толстолобика – 1,4 кг. По индексу физического развития, коэффициенту упитанности и обхвату тела самки значительно превосходили самцов. Индекс обхвата у самок пестрого толстолобика соответствовал 68,7%, у белого толстолобика – 66,6%, у самок белого амура – 67,4%, что следует признать весьма низким для маточного поголовья. По данным А.П. Гречковской и Р.А. Балтаджи [9], индекс обхвата у самок толстолобиков, отобранных для селекционных целей, составлял 70-72%. Это может свидетельствовать о неудовлетворительном экстерьере самок и самцов, выращиваемых в хозяйстве маточного стада растительноядных рыб.

Среда обитания обуславливают физиологический статус организма. По показателям крови можно судить об уровне обменных процессов в организме, полноценности питания, а также о различных патологических состояниях и заболеваниях организма. Анализ белой крови рыб выявил существенные изменения в соотношении отдельных форм лейкоцитов. Уровень изменчивости отдельных показателей крови у рыб очень высок, что в особенности отмечено по моноцитам (табл. 1).

Из тринадцати обследованных самок белого толстолобика у одной отмечено нарушение осмоса, у другой – хроматинолиз, распад хроматина.

У белого амура отмечены более существенные изменения в показателях белой крови. У трех самцов из семи наблюдался кариорексис (распад ядра) и цитоллиз (распад клетки), кровь имела светло-розовую окраску. При повторном анализе лейкоцитарной формулы крови наблюдались значительные сдвиги в сторону уменьшения элементов лимфоидного ряда за счет увеличения элементов моноцитоидного ряда. Среди производителей белого амура встречались особи (у 11 из 30), у которых в лейкоцитарной формуле моноциты составляли до 43%. Выявлено много разрушенных и пораженных эритроцитов, что свидетельствовало о глубоких патологических изменениях в организме белого амура.

У самок пестрого толстолобика содержание моноцитов у отдельных особей достигало 48%. У них также отмечены высокие значения полиморфноядерных клеток. Наличие высокого уровня этих клеток свидетельствует о реакции иммунной системы на физиологические изменения в организме рыб.

## Лейкоцитарная формула крови у производителей растительноядных рыб

Вид рыбы	Форменные элементы крови, %					
		лимфоциты	моноциты	полиморфно-ядерные	нейтрофилы	эозинофилы
Белый амур						
самки	M±m	66,6±2,65	27,2±2,18	2,18±6,66	2,7±0,75	1,12±-0,51
	C <sub>v</sub> , %	16,4	33,1	124,7	115,5	189,3
самцы	M±m	68,2±2,74	27,2±2,96	1,90±0,67	1,2±1,32	1,80±1,06
	C <sub>v</sub> , %	13,3	36,0	151,5	90,0	233,3
Пестрый толстолобик						
самки	M±m	57,5±4,9	33,2±3,39	7,50±1,67	1,0±0,39	-
	C <sub>v</sub> , %	30,6	37,0	80,3	139,0	
самцы	M±m	67,7±2,34	23,5±2,51	8,80±2,71	0,66±0,66	-
	C <sub>v</sub> , %	8,5	26,2	75,4	245,0	
Белый толстолобик						
самки	M±m	70,0±5,1	23,0±2,50	2,30±0,63	0,2±0,14	-
	C <sub>v</sub> , %	28,2	43,6	106,6	280,0	
самцы	M±m	72,9±2,85	25,3±2,53	1,70±0,47	0,1±0,1	-
	C <sub>v</sub> , %	11,7	30,0	82,9	340,0	



Рис. 1. Белый амур



Рис. 2. Пестрый толстолобик

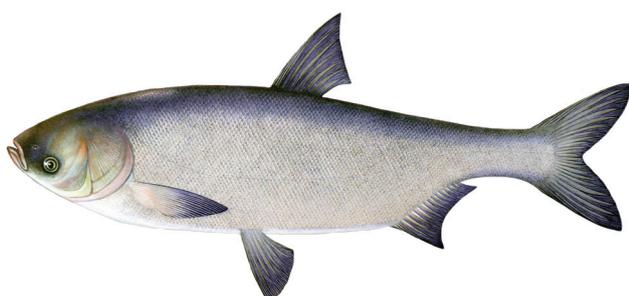


Рис. 3. Белый толстолобик

В меньшей степени подвержены изменениям показатели крови у производителей белого толстолобика, хотя встречались особи с повышенным содержанием моноцитов, т.е. характер изменений у этого объекта находился на более низком уровне. Морфологические изменения клеточных элементов, особенно эритроцитов, имели несколько характерных особенностей: нарушение осмоса (эритроциты приобретают почти эллипсоидную форму), вакуолизация кариорексиса (распад ядра на отдельные части), цитоллиз (клетка теряет свою обычную структуру). Вакуолизация кариорексиса и цитоллиз объясняются расстройством внутриклеточного обмена.

Анализ белой крови указывает на существенные сдвиги в лейкоцитарной формуле у всех трех видов, но в особенности – у производителей белого амура. Это свидетельствует о неблагоприятных условиях содержания, что отразилось на продуктивных качествах изучаемых рыб.

Изучение активности аминотрансфераз у растительноядных рыб позволяет определить уровень продуктивности производителей. Аминотрансферазы – ферменты, катализирующие перенос аминокислот от какой-либо аминокислоты к кетокислотам. Наиболее важной из них является АЛТ. Она осуществляет связь через α-кето-

глюгаровую, шавелеуксусную и пировиноградную кислоты с белковым, углеводным и жировым обменом, катализирует синтез аланина, аспарагиновой и глутаминовой аминокислот.

Исследования показали, что колебания этого показателя по трем видам рыб не имели существенных различий (табл. 2), однако при селекции этот показатель увеличивается.

Таблица 2

**Содержание АЛТ в крови рыб**

Вид рыбы	Пол	1-й год		2-й год	
		M±m	C <sub>v</sub> , %	M±m	C <sub>v</sub> , %
Белый амур	самки	22,3±1,2	16,1	26,4±0,70	10,2
	самцы	22,0±1,0	15,0	27,5±0,76	9,4
Белый толстолобик	самки	26,8±0,9	11,1	25,9±1,28	22,3
	самцы	28,8±0,8	7,2	28,0±1,26	14,2
Пестрый толстолобик	самки	27,7±1,4	15,1	31,0±0,90	10,9
	самцы	23,3±0,9	12,4	28,4±0,50	5,6

Уровень АЛТ у рыб с возрастом, в особенности у половозрелых особей, резко возрастает. Уровень варибельности этого показателя колеблется у самок от 11,1 до 16,1%, у самцов – от 7,2 до 15,0%. Такая же закономерность отмечена относительно карпов [4]. Ферменты крови АЛТ и АСТ связаны с уровнем молочной продуктивностью. Этот показатель служит ориентиром при углубленной селекции высокопродуктивного молочного скота [10].

Отмечена положительная связь между активностью АЛТ и плодовитостью производителей. Это дает основание полагать, что данный показатель может служить одним из биохимических тестов при оценке обмена веществ и продуктивности производителей. Высокий диапазон колебаний активности фермента внутри каждой группы рыб дает возможность при бонитировке отбирать особей с высокой активностью АЛТ в племенное ядро. С учетом высокой наследуемости этого показателя (более 50%) есть основание включить указанный признак при отборе особей в ремонтное племенное стадо растительноядных рыб.

Оценка производителей по морфо-физиологическим показателям половых продуктов показала, что среднее количество полученной икры от одной самки по нескольким сезонам колебалось у белого толстолобика от 650 до 937 г, у пестрого – от 700 до 1450 г, у белого амура – от 900 до 1100 г. Наибольшая варибельность этого признака отмечена у самок белого амура (34,2%), что связано с разнокачественностью самок.

Сперма у всех трех видов самцов имела высокий уровень мертвых сперматозои-

дов (до 30%), что свидетельствует об их неудовлетворительном физиологическом состоянии.

Средняя масса набухшей икры наибольшей была у белого амура, наименьшей – у белого толстолобика, причем у последних был наиболее высокий процент ее варибельности, при наименьших – у пестрого толстолобика (6,7%) (табл. 3). Диаметр оплодотворенных икринок у толстолобиков был практически одинаковым, тогда как у белого амура он был достоверно большим.

В целом, характеризуя качество икры, следует отметить, что по плотности икринок белый толстолобик достоверно отличается от пестрого толстолобика и белого амура, имея при этом более высокий коэффициент ее варибельности.

В сезон второго года исследований масса икринок у всех видов увеличилась: у толстолобиков – за счет размера перевителлинового пространства, а у белого амура – за счет увеличения плотности желтка. При этом встречаются икринки, особенно у белого амура, у которых желток имеет эллипсоидную форму.

Размер перевителлинового пространства икринок самок белого амура составлял 56,6% от диаметра икры, белого толстолобика – 50,2%, пестрого толстолобика – только 39,4%. Этот показатель у рыб на втором году исследований более всего увеличился у белого амура, менее – у пестрого толстолобика. Эти данные свидетельствуют о высокой разнокачественности икры у производителей растительноядных рыб, выращиваемых в рыбхозе «Ергенинский».

## Морфо-метрическая характеристика икры растительноядных рыб

Показатели		Белый толстолобик	Пестрый толстолобик	Белый амур
Масса икринки, мг	M±m	$\frac{10,7 \pm 0,2}{19,9 \pm 0,30}$	$\frac{13,0 \pm 0,6}{31,5 \pm 0,2}$	$\frac{25,5 \pm 1,04}{27,0 \pm 0,30}$
	C <sub>v</sub> , %	23,4/14,5	6,7/4,1	18,6/6,4
Диаметр икринки, мм	M±m	$\frac{3,5 \pm 0,02}{3,92 \pm 0,02}$	$\frac{3,4 \pm 0,03}{4,47 \pm 0,02}$	$\frac{3,8 \pm 0,08}{4,22 \pm 0,01}$
	C <sub>v</sub> , %	8,6/6,4	5,5/2,2	8,9/1,9
Диаметр желтка икринки, мм	M±m	$\frac{1,4 \pm 0,01}{1,3 \pm 0,01}$	$\frac{1,77 \pm 0,03}{1,42 \pm 0,05}$	$\frac{1,69 \pm 0,06}{1,50 \pm 0,04}$
	C <sub>v</sub> , %	12,3/11,5	8,5/17,6	14,8/16,0
Перевителлиновое пространство икринки, мм	M±m	$\frac{1,76 \pm 0,02}{2,55 \pm 0,02}$	$\frac{1,34 \pm 0,04}{2,96 \pm 0,05}$	$\frac{2,15 \pm 0,09}{2,62 \pm 0,05}$
	C <sub>v</sub> , %	17,6/9,4	15,0/10,1	19,4/11,4
Плотность икринки, ед.	M±m	$\frac{0,73 \pm 0,01}{0,61 \pm 0,01}$	$\frac{0,87 \pm 0,01}{0,61 \pm 0,01}$	$\frac{0,86 \pm 0,03}{0,60 \pm 0,01}$
	C <sub>v</sub> , %	22,5/22,9	9,2/9,7	15,1/10,0

**Примечание.** Над чертой – 1-й год, под чертой – 2-й год исследований.

Необходимо выращивать маточное поголовье при низких плотностях посадки. Известно, что при увеличении плотности посадки значительно снижается средняя конечная масса рыб. Она обуславливается снижением в воде концентрации растворенного кислорода, накоплением метаболитов, конкуренцией за пространство, размерными и иерархическими эффектами и недостатком естественной пищи. В связи с этим проведенные в рыбхозе «Ергенинский» исследования по изучению влияния разных плотностей посадки (5, 10 и 20 тыс. шт/га) при выращивании в выростных прудах сеголетков белого и пестрого толстолобиков и белого амура на их потенциальные возможности роста и физиологическое состояние показали следующие результаты.

Характеристика сеголетков по массе и экстерьеру показала, что естественная продуктивность выростных прудов не обеспечивает нормативный рост рыб при высокой плотности посадки (табл. 4). Наилучшие показатели получены в пруду, где рыба выращивалась при наименьшей плотности посадки (5 тыс. шт/га). Выход сеголетков из прудов составил 90-92%, что выше нормативных данных по данной рыбоводной зоне.

Наименьший рост отмечен у белого амура, он имел высокий индекс прогонистости тела по всем прудам. Следует добавить, что с повышением плотности посадки его значение достоверно увеличивалась с 3,81 до 3,95 при низком коэффициенте вариации

белости признака. Низкая скорость роста белого амура обусловлена низким уровнем развития в пруду макрофитов. Индекс большеголовости у белого амура находился в пределах 25,3-26,3%, у пестрого толстолобика – 31,4-32,8%, у белого – 27,8-28,6%.

Индекс физического развития, тесно связанный с массой и длиной тела, в большинстве случаев был более значительным у белого толстолобика, наименьшие его значения отмечены у пестрого толстолобика. При увеличении плотности посадки этот показатель повышается. Полученные данные свидетельствуют о том, что при создании благоприятных условий среды выращивания улучшаются хозяйственно-полезные признаки сеголетков, а это при отборе лучших особей в ремонтное стадо окажет положительное влияние на формирование качественно племенного ядра растительноядных рыб.

Анализ полученных данных по выращиванию растительноядных рыб в рыбхозе «Ергенинский» дает основания для разработки новых технологических и селекционно-племенных подходов в целях получения высококачественного маточного поголовья растительноядных рыб. В качестве основного показателя, характеризующего физиологическое состояние рыб и находящегося в тесной связи с положительными хозяйственно полезными признаками производителей, необходимо при отборе в ремонтное стадо молодняка использовать особей с высоким показателем аланинаминотрансферазы (АЛТ).

**Биометрическая характеристика сеголетков растительноядных рыб,  
выращенных в рыбхозе «Ергенинский»**

Показатели	Белый толстолобик		Пестрый толстолобик		Белый амур	
	M±m	C <sub>v</sub> , %	M±m	C <sub>v</sub> , %	M±m	C <sub>v</sub> , %
Плотность посадки выращивания сеголетков – 5 тыс. шт/га						
Масса рыб, г	12,6±0,51	20,4	19,0±0,83	21,8	8,49±0,91	58,7
Индексы: прогонистости	3,3±0,02	4,2	3,2±0,04	6,1	3,84±0,03	4,9
высокоспинности, %	29,7±0,26	4,4	30,6±0,34	5,5	26,0±0,22	4,6
большеголовости, %	28,6±0,29	5,1	31,4±0,29	4,7	26,0±0,29	6,1
физического развития, г/см	1,4±0,04	14,1	2,0±0,06	15,9	1,2±0,08	38,4
Плотность посадки выращивания сеголетков – 10 тыс. шт/га						
Масса рыб, г	27,4±1,42	26,5	24,5±0,93	19,4	24,5±0,93	28,8
Индексы: прогонистости	3,2±0,03	5,7	3,2±0,02	4,2	3,2±0,02	3,7
высокоспинности, %	30,7±0,36	6,0	31,0±0,25	4,2	31,0±0,25	3,7
большеголовости, %	27,8±0,25	4,6	32,8±0,28	4,4	32,8±0,28	5,4
физического развития, г/см	2,4±0,09	20,6	2,3±0,06	14,5	2,3±0,06	24,1
Плотность посадки выращивания сеголетков – 20 тыс. шт/га						
Масса рыб, г	12,9±0,42	21,0	7,23±0,29	15,6	9,92±1,19	52,3
Индексы: прогонистости	3,29±0,09	2,7	3,21±0,03	3,8	3,95±0,03	4,2
высокоспинности, %	30,1±0,29	6,1	31,1±0,30	3,8	25,3±0,26	3,4
большеголовости, %	1,48±0,02	10,1	1,03±0,02	10,0	1,22±0,09	33,8
физического развития, г/см	2,78±0,14	3,3	3,20±0,23	2,9	2,53±0,24	4,1

### Выводы

На основании проведенных исследований в рыбхозе «Ергенинский» установлено, что стадо производителей растительноядных рыб имеет в преднерестовый период неудовлетворительные морфологические показатели и физиологическое состояние: повышенный моноцитоз и пониженный синтез белка в крови.

Содержатся производители после зимовки в рассадных прудах при плотности посадки 300-400 шт/га. Пруды зарастают камышом и рогозом на 40-50% от общей площади и в весенний период имеют весьма бедную кормовую базу. В прединъекционных прудах производители содержатся в течение 30-40 дней при очень высокой плотности. Сроки эксплуатации производителей не учитываются, и поэтому их продуктивность низка.

Не исключено, что толстолобики являются возвратными гибридами. Так, при высокой плодовитости они имеют икру очень низкого качества, а у самцов количество мертвых сперматозоидов достигает 40-50%.

Рост молоди в инкубационный период свидетельствует о небольших запасах питательных веществ. В выростной период темп роста потомства всех трех видов низок даже

при разреженной посадке. Это свидетельствует о том, что:

- физиологическое состояние потомства является неудовлетворительным;
- нормативы по плотности выращивания растительноядных рыб в поликультуре для рыбхоза «Ергенинский» не соответствуют данным видам;
- в практике хозяйства отбор молодняка в ремонтное стадо проводится из товарных нагульных прудов, что, очевидно, приводит к значительным изменениям в обмене веществ, низкой скорости роста рыб, особенно – белого амура.

В результате проведенной комплексной оценки выявлены низкие продуктивные качества ремонтного молодняка и производителей растительноядных рыб. Для улучшения состояния племенной работы с растительноядными рыбами необходимо провести ряд организационных и селекционно-племенных мероприятий, а именно:

- отработать методику отбора и подбора производителей растительноядных рыб, выращиваемых в прудах рыбхозов и используемых в племенных целях;
- установить классность племенного материала растительноядных рыб на осно-

вании экстерьерных и воспроизводительных показателей;

- разработать методы содержания и выращивания ремонтного молодняка растительноядных рыб, начиная с возраста сеголеток;

- по аналогии с карпом при отборе в племенное стадо растительноядных рыб рекомендовать использование показателя аланинаминотрансферазы (АЛТ) крови.

#### Библиографический список

1. Маслова Н.И., Серветник Г.Е., Петрушин А.Б. Эколого-биологические основы поликультуры рыбоводства. М.: ВНИИР, 2002. 268 с.

2. Багров А.М. Рост растительноядных рыб в тропических условиях (на примере Республики Куба) // Сб. научных трудов «Растительноядные рыбы и новые объекты рыбоводства и акклиматизации». Вып. 38. М.: ВНИИПРХ, 1963. С. 116-134.

3. Богерук А.К. Изменчивость молоди белого амура, выращенной в тропических водоемах // Сб. научных трудов ВНИИПРХ «Растительноядные рыбы и новые объекты рыбоводства и акклиматизации». Вып. 38. М.: ВНИИПРХ, 1983. С. 59-80.

4. Власов В.А., Маслова Н.И. Морфо-физиологическая изменчивость карпа. М.: Издательство РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. 227 с.

5. Гречковская Л.П., Семенов К.С. Формирование ремонтных стад пестрого, белого толстолобиков в прудах юга Украины // Краткие тезисы «Биологические основы и производственный опыт рыбохозяйственного и мелиоративного использования дальневосточных растительноядных рыб». М., 1984. С. 64-66.

6. Поляруш В.П. Рыбоводно-биологическая эффективность внутривидового скрещивания растительноядных рыб: Автореф. канд. дис. М., 1984. 19 с.

7. Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб. М.: Легкая промышленность, 1983. 202 с.

8. Лобченко В.В., Стороженко С.С. Формирование и эксплуатация маточных стад растительноядных рыб в условиях Молдавии // Сб. «Растительноядные рыбы в промышленном рыбоводстве». Ташкент, 1980. С. 26-27.

9. Гречковская А.П., Балтаджи Р.А. Рыбоводно-биологическая характеристика исходного стада пестрого толстолобика на начальном этапе селекционных работ // Сб. «Селекционно-племенная работа в прудовом рыбоводстве». Вильнюс: Ин-т зоологии и паразитологии, 1979. С. 76-67.

10. Михайлова Ю.А. Белковомолочность и технологические свойства молока коров с разными генотипами капа-казеина: Автореф. канд. дис. М., 2016. 21 с.

Материал поступил в редакцию 29.09.2016 г.

#### Сведения об авторах

**Власов Валентин Алексеевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры аквакультуры и пчеловодства, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: (499) 976-00-09; e-mail vvlasov@timacad.ru

**Маслова Неонила Ивановна**, доктор биологических наук, заведующий лабораторией разведения и воспроизводства рыб, ФГБНУ ВНИИР, 142460, Московская обл., Ногинский район, р. пос. им Воровского; тел.: (499) 356-75-23; e-mail LJBflexuser.ru

**Серветник Григорий Емельянович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор, ФГБНУ ВНИИР, 142460, Московская обл., Ногинский район, р. пос. им. Воровского; e-mail LJBflexuser.ru

#### V.A. VLASOV

Federal state budget educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

#### V.A. MASLOVA, G.YE. SERVETNIK

Federal state scientific institution «All-Russian research institute of irrigation fish breeding, Noginsky region, Moscow area, Russian Federation

## MORPHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF UTERINE STOCK OF HERBIVOROUS FISH OF THE FISH FARM «YERGENINSKY»

*This article considers a general analysis of the pedigree state with herbivorous fish in the fish farm «Ergeninsky». The materials of data review of the literature and our own investigations show an unsatisfactory work with these species. As a result of a comprehensive assessment there*

are revealed low productivity qualities of the replacement and producers of herbivorous fish. To improve the state of the pedigree work with this fish it is necessary to carry out a number of organizational measures: to work out the methodology of selection and choice of producers of herbivorous fish used for breeding; to study its exterior and reproductive qualities and establish classification of fish according to these indicators; to develop methods of keeping and breeding of the replacement and producers beginning from the underyearling age. For blood refreshing a delivery of unrelated groups of herbivorous fish is required to the farms engaged in breeding work on the stage of the larva of a known origin from the areas of the natural habitat. By analogy with the breeding work with carp we can recommend when selecting in the replacement and uterine stock of herbivorous fish, usage of species with a high alanine aminotransferase (ALT) level in the blood.

*Herbivorous fish, grass carp, silver carp, bighead carp, producers, exterior signs, morphological indices, blood, hardroe, breeding power.*

### References

1. Maslova N.I., Servetnik G.Ye., Petrushin A.B. *Ecologo-biologicheskie osnovy polikultury rybovodstva*. M.: VNIIR, 2002. 268 s.
2. Bagrov A.M. Rost rastitel'noyadnyh ryb v tropicheskikh usloviyakh (na primere Respubliki Kuba) // *Sb. Nauchnyh trudov «Rastitel'noyadnye ryby i novye objecty rybovodstva i acclimatizatsii»*. Vyp. 38. M.: VNIIPRH, 1963. S. 116-134.
3. Bogeruk A.K. Izmenchivost' molodi belogo amura, vyrashchennoj v tropicheskikh vodoemah // *Sb. Nauchnyh trudov VNIIPRH «Rastitel'noyadnye ryby i novye objecty rybovodstva i acclimatizatsii»*. Vyp. 38. M.: VNIIPRH, 1983. S. 59-80.
4. Vlasov V.A., Maslova N.I. *Morfo-fiziologicheskaya izmenchivost' karpa*. M.: Izdatel'stvo RGAU-MSHA imeni C.A. Timiryazeva, 2011. 227 s.
5. Grechkovskaya L.P., Semenov K.S. Formirovanie remontnyh stad pestrogo, belogo tolstolobikov v prudah yuga Ukrainy // *Kratkie tezisy «Biologicheskie osnovy i proizvodstvennyy opyt rybohozyajstvennogo i meliorativnogo ispol'zovaniya dalnevostochnuh rastitel'noyadnyh ryb»*. M., 1984. S. 64-66.
6. Polyarush V.P. *Rybovodno-biologicheskaya effektivnost' vnutrividovogo skreshchivaniya rastitel'noyadnyh ryb*: Avtoref. cand. dis. M., 1984. 19 s.
7. Ivanova N.T. *Atlas kletok krovi*. M.: Legkaya promyshlennost', 1983. 202 s.
8. Lobchenko V.V., Storozhenko V.V. Formirovanie i ekspluatatsiya matochnykh stad rastitel'noyadnyh ryb v usloviyakh Moldavii // *Sb. «Rastitel'noyadnye ryby v promyshlennom rybovodstve»*. Tashkent, 1980. S. 26-27.
9. Grechkovskaya A.P., Baltazhi R.A. Гречковская А.П., Балтаджи Р.А. *Rybovodno-biologicheskaya harakteristika ishodnogo stada pestrogo tolstolobika na nachal'nom etape selektsionnyh rabot* // *Sb. «Selektsionno-plemennaya rabota b prudovom rybovodstve»*. Vilnius: In-t zoologii i parazitologii, 1979. S. 76-67.
10. Mikhailova Yu.A. *Belkovomolochnost' i Tehnologicheskie svoistva moloka korov s raznymi genotipami kappa-kazeina*: Avtoref. cand. dis. M., 2016. 21 s.

The material was received at the editorial office  
29.09.2016

### Information about the authors

**Vlasov Valentin Alexeevich**, doctor of agricultural sciences, professor of the chair of aquaculture and beekeeping, FSBEI HE «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d. 49; tel.: (499) 976-00-09; e-mail vvaslov@timacad.ru

**Maslova Neonila Ivanovna**, doctor of biological sciences, head of the laboratory of fish breeding and reproduction FGBNU VNIIR, 142460, Moscow area, Noginsky region, r. pos named after Vorovsky; tel.: (499) 356-75-23; e-mail LJBflexuser.ru

**Servetnik Grigorij Yemel'yanovich**, doctor of agricultural sciences, professor, director, reproduction FGBNU VNIIR, 142460, Moscow area, Noginsky region, r. pos named after Vorovsky; e-mail LJBflexuser.ru

# ПРИРОДОБУСТРОЙСТВО

**2' 2017**

Ответственный за выпуск – *Н.Я. Филатова*

Редактор – *В.И. Марковская*

Переводчик – *Н.М. Логачева*

Верстальщик – *А.С. Лаврова*

Подписано в печать \_\_.\_\_.2017  
Формат 60×84/8<sub>8</sub>  
Шрифт SchoolBook  
Усл.-печ. л.  
Бумага офсетная  
Печать цифровая  
Тираж 750 экз.  
Заказ №  
Цена подписная

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: priodamgur@mail.ru

Издательство РГАУ-МСХА  
127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, дом 44  
Тел. 8 (499) 977-00-12, 8 (499) 977-14-92