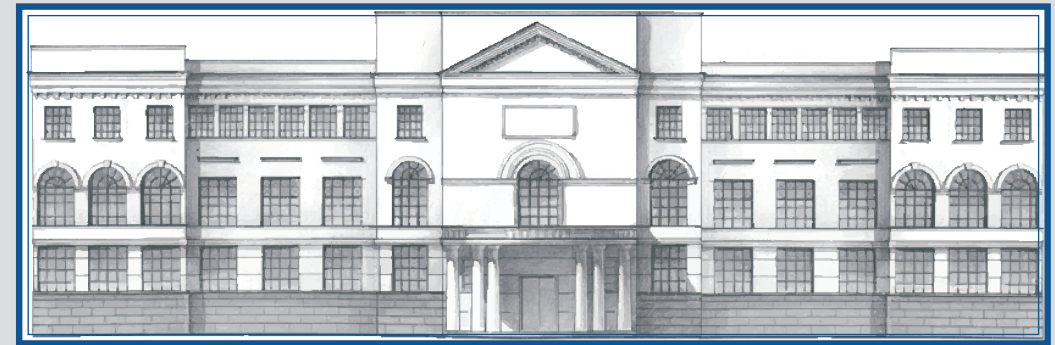


ISSN 1997-6011



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



# ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

Актуальные темы:

- ♦ НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА, ОСНОВАННАЯ НА ЗАКОНАХ ПРИРОДЫ
- ♦ ПЕРСПЕКТИВЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСККУСТВЕННО СОЗДАВАЕМЫХ СУБСТРАКТОВ
- ♦ СИСТЕМАТИЗАЦИЯ РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУР ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ (LARIXSIBIRICA)

ISSN 1997-6011



9 771997 601778 >

3' 2017

ISSN 1997-6011

# **ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО**

Научно-практический журнал

# **PRIRODOOBUSTROJSTVO**

Theoretical-practical journal

## **3' 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

**3' 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, профес-  
сор  
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. Штернлихт, 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

**3' 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

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Виталию Владимировичу Шабанову 80 лет .....                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 6   |
| <b>05.23.00 Строительство и архитектура</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
| <b>Кожевникова И.А., Швейкина В.И.</b><br>Нелинейная детерминированная модель формирования речного стока, основанная на законах природы .....                                                                                                                                                                                         | 8   |
| <b>Клёпов В.И., Рагулина И.В.</b><br>Оценка качества водных ресурсов в верхней части бассейна реки Москвы .....                                                                                                                                                                                                                       | 14  |
| <b>Анахаев К.Н., Акшайков З.Т., Анахаев Х.А.</b><br>Определение объемно-площадных характеристик округлых тел произвольной формы .....                                                                                                                                                                                                 | 22  |
| <b>Давлатшоев С.К., Назиров Дж.А., Козлов Д.В.</b><br>Организация геодинамического мониторинга в крупных подземных выработках .....                                                                                                                                                                                                   | 28  |
| <b>Фартуков В.А., Земляникова М.В.</b><br>Система управления сбора и анализа данных лабораторных исследований гидравлики ГТС .....                                                                                                                                                                                                    | 33  |
| <b>Касьянов А.Е.</b><br>Строительство осушительной сети при угрозе заохиривания дрен .....                                                                                                                                                                                                                                            | 39  |
| <b>Атабиев И.Ж., Балкизов А.Б.</b><br>Совершенствование конструкций концевых элементов подземного контура водонапорных сооружений .....                                                                                                                                                                                               | 43  |
| <b>Силкин А.М., Жарницкая Н.Ф., Некрасова Т.В.</b><br>Напряженно-деформированное состояние торфов в основаниях сетевых сооружений гидромелиоративных систем .....                                                                                                                                                                     | 48  |
| <b>Игнатенко Д.Н., Путырский В.Е.</b><br>Изучение агроклиматических условий Архангельской области РФ в целях оптимизации производства картофеля (на примере Холмогорского района) .....                                                                                                                                               | 55  |
| <b>06.01.00 Агрономия</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
| <b>Максименко В.П., Меньшикова С.А., Деев Ю.А.</b><br>Перспективы восстановления почвенного плодородия с использованием искусственно создаваемых субстратов .....                                                                                                                                                                     | 61  |
| <b>Карпенко Н.П., Сейтказиев А.С., Маймакова А.К.</b><br>Регулирование водно-солевого режима почв на засоленных землях хозяйств «Туймекен» и «Дихан» Жамбылской области .....                                                                                                                                                         | 70  |
| <b>Биткова Л.А.</b><br>Некоторые проблемы выявления и доказывания порчи земель .....                                                                                                                                                                                                                                                  | 77  |
| <b>Соломин И.А., Афанасьева В.И.</b><br>Состав и свойства твердых коммунальных отходов, учитываемые при выборе технических методов обращения с отходами .....                                                                                                                                                                         | 82  |
| <b>Сиреканян С.Р., Карапетян М.А.</b><br>Влияние поперечной силы на расположение центра поворота гусеничного трактора при его плавном повороте .....                                                                                                                                                                                  | 91  |
| <b>06.03.00 Лесное хозяйство</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |
| <b>Заварзин В.В., Лебедев А.В.</b><br>К методике моделирования объема стволов на примере сосны кедровой сибирской ( <i>Pinus Sibirica</i> ) .....                                                                                                                                                                                     | 96  |
| <b>Рахматуллина И.Р., Рахматуллин З.З., Латыпов Э.Р.</b><br>Моделирование условий произрастания и анализ вклада факторов в формирование высокобонитетных насаждений сосны обыкновенной ( <i>Pinus Sylvestris</i> L.) в программе Maxent (на примере Бугульминско-Белебеевской возвышенности в пределах Республики Башкортостан) ..... | 104 |
| <b>Хлюстов В.К., Корешков Н.В.</b><br>Систематизация роста и продуктивности географических культур лиственницы сибирской ( <i>Larix Sibirica</i> ) .....                                                                                                                                                                              | 111 |
| <b>06.04.00 Рыбное хозяйство</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |
| <b>Жигин А.В., Арыстангадиева В.А., Тырин Д.В., Ковачева Н.П.</b><br>Определение оптимальной температуры и потребления кислорода при подрачивании молоди австралийского красноклешневого рака .....                                                                                                                                   | 121 |
| Перечень требований и условий представления статей для публикации в журнале .....                                                                                                                                                                                                                                                     | 129 |

## Contents

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Vitalij Vladimirovich Shabanov is 80 years old .....                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 6   |
| <b>05.23.00 Building and architecture</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
| <b>Kozhevnikova I.A., Shveikina V.I.</b><br>Nonlinear deterministic model of runoff formation based on the laws of nature .....                                                                                                                                                                                                               | 8   |
| <b>Klepov V.I., Ragulina I.V.</b><br>Qualitative assessment of water resources in the upper part of the Moscow river basin .....                                                                                                                                                                                                              | 14  |
| <b>Anakhaev K.N., Akshayakov Z.T., Anakhaev Kh.A.</b><br>Determination of volume and areal characteristics of rounded bodies of a free form .....                                                                                                                                                                                             | 22  |
| <b>Davlatshoev S.K., Nazirov Dj.A., Kozlov D.V.</b><br>Organization of geodynamic monitoring in large underground workings .....                                                                                                                                                                                                              | 28  |
| <b>Fartukov V.A., Zemlyannikova M.V.</b><br>Control system for data collection and analysis of laboratory research of hydraulics HTS .....                                                                                                                                                                                                    | 33  |
| <b>Kasyanov A.Ye.</b><br>Building of the drainage system under the threat of iron oxide depositions in drains .....                                                                                                                                                                                                                           | 39  |
| <b>Atabiev I.Zh., Balkizov A.B.</b><br>Improvement of the design of end elements of the underground contour of water pressure facilities .....                                                                                                                                                                                                | 43  |
| <b>Silkin A.M., Zharnitskaya N.F., Nekrasova T.V.</b><br>Deflected mode of peats in the bases of network constructions of hydraulic systems .....                                                                                                                                                                                             | 48  |
| <b>Ignatenko D.N., Putyrsky V.Ye.</b><br>The study of agro-climatic conditions of the Arkhangelsk region of the Russian Federation in order<br>for optimization purposes of potato production (by the example of the Kholmogory district) .....                                                                                               | 55  |
| <b>06.01.00 Agronomy</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |
| <b>Maksimenko V.P., Menjshikova S.A., Deev Yu.A.</b><br>The prospects for recovery of soil fertility using artificially created substrates .....                                                                                                                                                                                              | 61  |
| <b>Karpenko N.P., Sejtkaev A.S., Majmakova A.K.</b><br>Regulation of water-saline regime of soils on saline lands of the economies «Tujmeken» and «Dikhan»<br>of the Jambyl region .....                                                                                                                                                      | 70  |
| <b>Bitkova L.A.</b><br>Some problems of identification and proof of land spoiling .....                                                                                                                                                                                                                                                       | 77  |
| <b>Solomin I.A., Afanaseva V.I.</b><br>Composition and properties of municipal solid waste considered when choosing technical methods<br>of water treatment .....                                                                                                                                                                             | 82  |
| <b>Sirekanyan S.R., Karapetyan M.A.</b><br>Influence of the transversal force of the center location of the of the crawler tractor turn at its smooth turn .....                                                                                                                                                                              | 91  |
| <b>06.03.00 Forestry</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |
| <b>Zavarzin V.V., Lebedev A.V.</b><br>Concerning the simulation method of trunks volume by the example of the siberian cedar pine ( <i>Pinus Sibirica</i> ) .....                                                                                                                                                                             | 96  |
| <b>Rakhmatullina I.P., Rakhmalullin Z.Z., Latypov E.R.</b><br>Simulation of growing conditions and analysis of factors contribution in formation of high bonitet plantings<br>of pine ( <i>Pinus Sylvestris</i> L.) in the program Maxent (by the example of the Bugulminsko-belebeevsky upland within<br>the republic of Bashkortostan ..... | 104 |
| <b>Khlyustov V.K., Koreshkov N.V.</b><br>Systematization of growth and productivity of geographical crops of siberian larch ( <i>Larix Sibirica</i> ) .....                                                                                                                                                                                   | 111 |
| <b>06.04.00 Fishery</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
| <b>Zhigin A.V., Arystangaliyeva V.A., Tyrin D.V., Kovacheva N.P.</b><br>Determination of the optimal temperature and consumption of oxygen in rearing young australian<br>red clawed crayfish .....                                                                                                                                           | 121 |
| The list of requirements and conditions for submission of articles for publication in the journal .....                                                                                                                                                                                                                                       | 129 |

## ВИТАЛИЮ ВЛАДИМИРОВИЧУ ШАБАНОВУ 80 ЛЕТ



Исполнилось 80 лет видному ученому-педагогу, почетному работнику высшего профессионального образования, доктору технических наук, профессору **Виталию Владимировичу Шабанову**.

Виталий Владимирович родился 27 июня 1937 г. в городе Москве, в семье инженера-гидролога. В первую изыскательскую экспедицию по выбору створов водохранилищ в бассейне реки Белой он отправился с отцом, главным специалистом по гидрологии Союзводоканалпроекта, когда ему было 16 лет. Немудрено, что вся его дальнейшая биография была связана с мелиорацией и водным хозяйством.

В 1956-1968 гг. В.В. Шабанов работал техником, инженером, младшим научным сотрудником якутской экспедиции научно-исследовательского сектора Московского института инженеров водного хозяйства имени В.Р. Вильямса, одновременно обучаясь на инженерном факультете Всесоюзного сельскохозяйственного института заочного образования. В 1964 г. он окончил институт по специальности «Инженер-гидротехник». В 1966 г. поступил в аспирантуру, в 1969 г. блестяще защитил кандидатскую диссертацию, которая была представлена его учителем – академиком С.Ф. Аверьяновым – как докторская. Это был первый и единственный случай в нашей отрасли, когда на совете по защите диссертации на голосование было поставлено два решения: присуждение кандидатской и докторской степеней. Диссертация была посвящена актуальному вопросу – обоснованию потребности в мелиорации.

В эти годы по инициативе академика С.Ф. Аверьянова и при активном участии юбиляра разрабатывается новое направление в мелиорации – комплексное мелиоративное регулирование основных факторов жизни растений на мелиорируемых землях.

В 1968-1972 гг. В.В. Шабанов работал старшим научным сотрудником, руководил

работами по подготовке и созданию автоматизированной системы комплексного мелиоративного регулирования в Белорусской ССР. Разносторонний научный и организационный опыт лег в основу последующих исследований. Виталий Владимирович стоял у истоков создания в 1972 г. проблемной научно-исследовательской лаборатории по разработке теоретических основ совместного управления водным, солевым и тепловым режимами мелиорируемых земель под руководством академика ВАСХНИЛ С.Ф. Аверьянова. Он был избран заведующим проблемной лабораторией и оставался им по 1987 г., а с 1987 по 1995 гг. был ее научным руководителем, одновременно являясь заведующим кафедрой комплексного использования водных ресурсов (1981-1995), профессором кафедры мелиорации и рекультивации земель.

В настоящее время В.В. Шабанов работает профессором кафедры мелиорации и руководит на общественных началах проблемной лабораторией.

Имя юбиляра неразрывно связано с опытно-производственным участком «Лесное» в Минской области, на котором впервые была создана автоматизированная система управления водным, пищевым и тепловым режимами почв и создан комплекс измерительной аппаратуры с автоматической ежесуточной записью факторов внешней среды, проведены уникальные комплексные исследования по управлению водным, тепловым и пищевым режимами осушаемых торфяников. В.В. Шабанов является одним из разработчиков рекомендаций по требованиям растений к водному, тепловому и пищевому режимам почв включая микробиологическую деятельность, для низинного торфяника нового способа орошения осушаемых земель по критерию сбалансированного водообмена, методики расчета потерь углерода и продуцирования азота и фосфора в торфяной почве, рекомендаций по контролю качества вод

на мелиоративных водооборотных системах по комплексу гидрохимических и гидробиологических показателей, программного комплекса OBOSN по проектированию и оптимизации параметров систем комплексного мелиоративного регулирования в засушливых зонах, системы оптимального управления поливами и др.

За период 1972-1995 гг. на базе лаборатории было защищено 25 кандидатских и пять докторских диссертаций. Под руководством В.В. Шабанова подготовлено четыре кандидата технических наук.

В 1992 г. В.В. Шабанов защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук по теме «Количественные методы обоснования необходимости и эффективности управления факторами жизни растений при комплексных мелиорациях». В 1991 г. он получил квалификацию эксперта-эколога в Центре переподготовки кадров в области экологии в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова.

Области теоретических и экспериментальных исследований Виталия Владимировича: комплексная мелиорация земель, разработка математических моделей обоснования природной необходимости, экономической эффективности и экологической безопасности комплексного мелиоративного регулирования; инженерная экология, разработка математических моделей взаимодействия растений с окружающей средой; комплексное использование водных ресурсов, разработка математических моделей оптимизации использования водных ресурсов при орошении.

Научную деятельность Виталий Владимирович сочетает с преподавательской и учебно-методической: читает лекции, ведет дипломное проектирование, руководит аспирантами. Им написаны учебные пособия «Введение в рациональное природопользование», учебное пособие по оценке риска сельскохозяйственной деятельности в условиях изменения климата и др., разработаны и внедрены в учебный процесс учебные дисциплины «Экологическая экспертиза», «Эколого-экономическая экспертиза», «Мелиорация

водосборов» и курсы «Ландшафтоведение» и «Основы научной деятельности». В период руководства кафедрой комплексного использования водных ресурсов изданы учебники «Комплексное использование водных ресурсов» (1985) и «Комплексное использование водных ресурсов и охрана природы» (1994) В.В. Шабанова и соавторов. В последние годы он принял участие в подготовке ряда разделов в учебниках «Природообустройство» и «Мелиорация земель».

Опубликовано свыше 180 работ профессора В.В. Шабанова, среди которых – две монографии: «Биоклиматическое обоснование мелиораций» (1973) и «Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет» (1981). Кроме того, им написаны статьи в Международную энциклопедию жизнеподдерживающих систем (издана в Лондоне), в «Словарь по прикладной экологии, рациональному природопользованию и природообустройству», «Словарь общенаучных терминов»; подготовлено 15 статей для «Мелиоративной энциклопедии» и др.

Виталий Владимирович Шабанов – один из инициаторов и организаторов информационного сайта ФГБОУ ВПО МГУП. Кроме того, профессор В.В. Шабанов – член редакционной коллегии журнала «Природообустройство» и его активный автор, входит в состав редакционного совета по публикации научных трудов университета; член диссертационного совета. Он награжден двумя правительственными медалями, медалями ВДНХ и ВВЦ РФ.

В последние годы научная работа юбиляра связана с проблемами комплексного обоснования необходимости и эффективности мелиорации в разных зонах страны, с оценкой изменения климата и рисками сельскохозяйственной деятельности, с вопросами природообустройства в условиях изменяющегося климата.

Ученики и коллеги Виталия Владимировича сердечно поздравляют юбиляра с замечательным юбилеем, желают ему хорошего здоровья, новых творческих достижений и исполнения творческих планов!

## 05.23.00 Строительство и архитектура

УДК 502/504:551.461

**И.А. КОЖЕВНИКОВА**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация

**В.И. ШВЕЙКИНА**

Институт водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН), г. Москва, Российская Федерация

**НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ  
ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА, ОСНОВАННАЯ  
НА ЗАКОНАХ ПРИРОДЫ**

*Основная цель представленной работы – создание нелинейной детерминированной модели формирования речного стока, адекватно отражающей основные его свойства: цикличность и хаотичность. Модель, состоящая из уравнений теплового и водного балансов, а также динамики речного стока, представляет собой систему автономных нелинейных дифференциальных уравнений. Ее решение исследовано методами теории нелинейных дифференциальных уравнений. Показано путем исследования устойчивости и типа неподвижных точек исходной системы, что хаотические решения могут возникать в системе только в том случае, если она имеет неустойчивые неподвижные точки. Полученное решение в зависимости от численных значений параметров является либо автоколебательным, либо хаотическим. В случае автоколебательного решения модель вскрывает механизм образования циклов в речном стоке. Хаотичность решения подтверждается методами детерминированного хаоса. На основании корреляционной размерности как характеристики детерминированного хаоса показано, что решение предложенной модели не является стохастическим, а обладает свойством хаотического колебания. Таким образом, представлена нелинейная модель формирования речного стока, имеющая в качестве решения автоколебания или хаотические колебания, т.е. модель отражает основные свойства речного стока: цикличность и хаотичность. Предложена методика предварительного исследования системы дифференциальных уравнений на предмет возможности возникновения в ней хаотических решений. Показано, что хаотические решения могут возникать только в системах, имеющих неустойчивые неподвижные точки. Определены управляющие параметры системы, чьи величины влияют на характер поведения решения.*

*Автономная система дифференциальных уравнений, корреляционная и информационная размерности, неподвижные точки, детерминированный хаос.*

**Введение.** Существует очень много явлений и процессов, которые могут проявляться в нескольких режимах при одинаковых внешних воздействиях. Например, в теплофизике это фазовые переходы первого рода (кристаллизация, плавление, кипение, конденсация и т.д.), в экологии – бистабильность экологических систем. В гидрологии и климатологии также широко распространены нелинейные явления, которые с течением времени меняют характер своих колебаний.

Нелинейность говорит о том, что между определенными факторами системы могут осуществляться положительные обратные связи, которые приводят к бифуркации, неу-

стойчивости и фазовым переходам. Механизм положительных и отрицательных обратных связей в процессе формирования речного стока подробно рассмотрен [1]. Многим гидрологическим процессам присущи также и хаотические колебания: например, стоку рек снегового питания [2] и такой важной характеристике теплообмена в почве, как ее влагозапасам [3]. Обнаружены хаотические колебания тропического климата на примере динамической системы для явления Эль-Ниньо [4], показана хаотическая динамика рядов по наводнению рек в бассейне р. Хуанхэ [5].

Ранее проведенные нами исследования показали, что колебания стока некоторых рек



являются хаотическими [6]. В частности, были рассчитаны диагностические характеристики хаоса рек Унжа, Ока, Лена и суммарного стока рек, впадающих в Каспийское море. В диссертации О.А. Юшкиной [7] отражены полученные **результаты исследований**, опирающиеся на методы нелинейной динамики, которые свидетельствуют о присутствии детерминированного хаоса в многолетних рядах стока. В этой работе показано, что для исследованных временных рядов стока рек Днепр, Томь и Бия, находящихся в существенно различных географических условиях формирования стока и гидрологического режима, четко обнаруживаются признаки детерминированного хаоса. Об этом свидетельствуют формы автокорреляционных функций, спектры мощности Фурье, формы аттракторов на фазовой диаграмме, дробные значения корреляционной размерности и значение энтропии Колмогорова.

Таким образом, считая, что сток рек может иметь хаотические режимы, мы предлагаем простую нелинейную детерминированную модель речного стока, решения которой в зависимости от управляющих параметров системы могут иметь автоколебательный или хаотический характер.

**Нелинейная детерминированная модель колебаний речного стока.** Рассмотрим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned}\frac{dW}{dt} &= P - E(W, T) - Q \\ \frac{dQ}{dt} &= G(W) - \frac{Q}{K(W)}, \\ c \frac{dT}{dt} &= \frac{S_0}{4} [1 - \alpha(W)] - I(T) - LE(W, T),\end{aligned}$$

где  $P$  – осадки;  $E(W, T)$  – испарение. Первое уравнение является уравнением водного баланса и представляет

собой частный случай закона сохранения вещества. Во втором уравнении  $G$  – силы тяжести, действующие на массы воды в бассейне,  $\frac{1}{K(W)}$  – коэффициент сопротивления бассейна движению воды в замыкающий створ бассейна. Этот коэффициент тесно связан с гидрогеологическими особенностями строения бассейна. Коэффициент  $K(W)$  – возрастающая функция  $W$ , т.к. рост влагозапасов приводит к увеличению речного стока. Многочисленными статистическими исследованиями показано, что водопроницаемость ненасыщенных грунтов экспоненциально увеличивается с ростом влажности. Второе уравнение системы выведено на основании закона изменения кинетической энергии воды, причем если  $\Pi = GY$  – мощность, развиваемая силой тяжести при перемещении вод в замыкающий створ,  $\Phi = Y^2 / K(W)$  – мощность диссипативных сил (сил трения и других сил сопротивления), то их разность  $\Pi - \Phi$  даст скорость изменения кинетической энергии стока, равной  $Y^2 / 2$ . В третьем уравнении  $T$  – приповерхностная температура воздуха;  $c$  – теплоемкость системы «Атмосфера – деятельный слой подстилающей поверхности»;  $\alpha(W)$  – альбедо;  $I(T)$  – излучение;  $S_0$  – солнечная постоянная;  $L$  – теплота испарения;  $E(W, T)$  – испарение. Альбедо зависит от увлажнения подстилающей поверхности, от вида и густоты растительности, от степени покрытия земли снегом. Третье уравнение описывает потоки тепла, в основном приход солнечной энергии и расход в виде отражения и излучения земной поверхностью, а также потери тепла на испарение. Уравнение баланса тепла предложено В.И. Найденовым и использовано для описания хаотической динамики гидросферы [1].

Стационарная точка  $(W_s, Q_s, T_s)$  системы определяется из условий:

$$dW/dt = 0, \quad dQ/dt = 0, \quad dT/dt = 0.$$

В окрестности этой точки разложим правые части уравнений системы в ряд Тейлора, причем для простоты ограничимся только вторыми степенями разложения, из которых в уравнениях оставим смешанные произведения:  $WT$  и  $WQ$ . Учтем, что

$$\begin{aligned}\left. \frac{\partial}{\partial W} \left( \frac{dW}{dt} \right) \right|_{\substack{W=W_s \\ Q=Q_s \\ T=T_s}} &= - \frac{\partial E(W_s, T_s)}{\partial W} = a_{10}, & \left. \frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{dW}{dt} \right) \right|_{\substack{W=W_s \\ Q=Q_s \\ T=T_s}} &= - \frac{\partial E(W_s, T_s)}{\partial T} = a_{20}, \\ \left. \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{dW}{dt} \right) \right|_{\substack{W=W_s \\ Q=Q_s \\ T=T_s}} &= -1 = a_{30}, \\ \left. \frac{\partial^2}{\partial W \partial T} \left( \frac{dW}{dt} \right) \right|_{\substack{W=W_s \\ Q=Q_s \\ T=T_s}} &= \frac{\partial^2}{\partial T \partial W} \left( \frac{dW}{dt} \right) \bigg|_{\substack{W=W_s \\ Q=Q_s \\ T=T_s}} = - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 E(W_s, T_s)}{\partial W \partial T} = a_{12}.\end{aligned}$$

Аналогично – для второго уравнения, учитывая, что

$$\begin{aligned}\left. \frac{\partial}{\partial W} \left( \frac{dQ}{dt} \right) \right|_{\substack{W=W_s \\ Q=Q_s \\ T=T_s}} &= \frac{\partial G(W_s)}{\partial W} + \frac{\partial K(W_s)}{\partial W} \frac{Q_s}{K^2(W_s)} = b_{10}, & \left. \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{dQ}{dt} \right) \right|_{\substack{W=W_s \\ Q=Q_s \\ T=T_s}} &= - \frac{1}{K(W_s)} = b_{30}, \\ \left. \frac{\partial^2}{\partial W \partial Q} \left( \frac{dQ}{dt} \right) \right|_{\substack{W=W_s \\ Q=Q_s \\ T=T_s}} &= \frac{\partial^2}{\partial Q \partial W} \left( \frac{dQ}{dt} \right) \bigg|_{\substack{W=W_s \\ Q=Q_s \\ T=T_s}} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial K(W_s)}{\partial W} \frac{1}{K^2(W_s)} \right) = b_{13}.\end{aligned}$$

Введем обозначения для коэффициентов третьего уравнения:

$$\left. \frac{\partial}{\partial W} \left( \frac{dT}{dt} \right) \right|_{\substack{W=W_s \\ Q=Q_s \\ T=T_s}} = -\frac{\partial \alpha(W_s) S_0}{\partial W} \frac{1}{4} - L \frac{\partial E(W_s, T_s)}{\partial W} = c_{10},$$

$$\left. \frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{dT}{dt} \right) \right|_{\substack{W=W_s \\ Q=Q_s \\ T=T_s}} = -\frac{\partial I(T_s) S_0}{\partial T} \frac{1}{4} - L \frac{\partial E(W_s, T_s)}{\partial T} = c_{20},$$

Получим разложение для изменения температуры, влагозапасов и стока, если введем обозначения:  $T - T_s = \tilde{T}$ ,  $W - W_s = \tilde{W}$ ,  $Q - Q_s = \tilde{Q}$ , исходная система принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{W}}{dt} = a_{10}\tilde{W} + a_{20}\tilde{T} + a_{30}\tilde{Q} + a_{12}\tilde{W}\tilde{T}, \\ \frac{d\tilde{Q}}{dt} = b_{10}\tilde{W} + b_{30}\tilde{Q} + b_{13}\tilde{W}\tilde{Q}, \\ \frac{d\tilde{T}}{dt} = c_{10}\tilde{W} + c_{20}\tilde{T}. \end{cases}$$

В первом уравнении первый коэффициент  $a_{10}$  содержит производную испарения по влажности. Считаем, что этот коэффициент может быть как положительным (при росте влагозапасов испарение возрастает), так и отрицательным, т.к. при некотором критическом значении влагозапасов испарение будет существенно уменьшаться с ростом влагозапасов. При значительных влагозапасах солнечное тепло будет расходоваться на нагрев и испарение увеличивающегося объема воды. Этот тезис подтверждается и результатами наблюдений, показывающих, что испарение с поверхности увлажненной суши на 50% больше испарения с поверхности рядом расположенного мелководного водоема. Коэффициент  $a_{20}$ , куда входит производная испарения по температуре, всегда положителен. Коэффициент  $a_{30}$  постоянен и равен  $-1$ . Коэффициенты в третьем уравнении  $c_{10}$  и  $c_{20}$ , куда входит солнечная постоянная  $S_0$ , достаточно фиксированы, т.к. любая из вариация влечет уход решения в бесконечность. Остальные коэффициенты могут изменяться в довольно широких пределах.

Наиболее важными коэффициентами, сильно влияющими на решение системы, на наш взгляд, являются коэффициенты  $a_{10}$  и  $b_{30}$  – производная испарения по влагозапасам почвы и коэффициент сопротивления бассейна движению воды в замыкающий створ. Кроме этого, физическое обоснование интервалов изменения коэффициентов уравнений рассмотрено

подробно [1, 8]. Использование большинства значений коэффициентов, приведенных в этих работах, дает автоколебательные решения. Долгий поиск значений коэффициентов, дающих хаотическое решение, привел к следующим значениям коэффициентов:

$$\begin{aligned} \frac{dW}{dt} &= 0.47W + 0.5T - Q + 0.65TW, \\ \frac{dQ}{dt} &= 2.46W - 0.21Q + 0.5WQ, \\ \frac{dT}{dt} &= 0.4W - 0.021T. \end{aligned} \quad (1)$$

Проанализируем решение этой системы, чтобы проверить возможность возникновения в ней хаотического режима. Для этого рассмотрим неподвижные точки системы (1).

**Методы исследования. Анализ неподвижных точек.** Решение системы может иметь хаотический характер, если хотя бы одна из неподвижных точек является неустойчивой. Именно в таком случае в системе могут возникать хаотические решения. Например, в классической системе Лоренца имеются три неподвижные точки:  $(0; 0; 0)$ ,  $(8, 485; 8, 485; 27)$ ,  $(-8, 485; -8, 485; 27)$ . Первая точка является седло-узлом, две другие – слабыми неустойчивыми фокусами.

Неподвижные точки автономной системы (1) являются решением следующей алгебраической системы уравнений:

$$\begin{cases} 0.5T - Q + 0.65TW + 0.47W = 0, \\ 2.46W - 0.21Q + 0.5QW = 0, \\ -0.021T + 0.4W = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Система (1) имеет одну действительную неподвижную точку  $(W_1 = 0, Q_1 = 0, T_1 = 0)$ . Для определения типа неподвижной точки линеаризуем систему (2) в её окрестности и найдем корни характеристического уравнения. Локальное движение, описываемое линеаризованной системой, подобно движению исходной нелинейной системы. Линеаризация системы осуществляется разложением в ряд Тейлора с точностью до 1-го слагаемого каждой из 3-х функций левой части системы (2).

Таким образом, получаем матрицу производных левой части системы (2)

$$\begin{pmatrix} 0.65T + 0.47 & -1 & 0.65W + 0.5 \\ 0.5Q + 2.46 & 0.5W - 0.21 & 0 \\ 0.4 & 0 & -0.021 \end{pmatrix} \quad (3)$$



Подставим координаты рассматриваемой неподвижной точки в матрицу (3) и вычислив определитель следующей матрицы, получим характеристическое уравнение:

$$\begin{vmatrix} 0.47 - x & -1 & 0.5 \\ 2.46 & -0.21 - x & 0 \\ 0.4 & 0 & -0.021 - x \end{vmatrix} = 0.$$

Его корни:  $x_1^{(1)} = 0.121 - 1.464i$ ;  $x_2^{(1)} = 0.121 + 1.464i$ ;  $x_3^{(1)} = -0.0035$ . Тип неподвижной точки: устойчивый узел (отрицательный действительный корень) – неустойчивый фокус (действительная часть комплексных корней положительна) [9].

Поскольку в окрестности неподвижной точки имеем линейную систему, воспользуемся критерием Рауса-Гурвица [10]. Из этого критерия следует, что если все корни характеристического уравнения, построенного для линеаризованной около неподвижной точки системы, имеют отрицательные действительные части, то исследуемая нелинейная система дифференциальных уравнений устойчива. В этом случае искать хаотический режим не имеет смысла. Для системы (1) эти необходимые условия устойчивости нарушены, поэтому в ней возможен хаотический режим. Определение типа неподвижной точки является предварительным исследованием системы, в которой предполагается хаос. Решение системы (1) в плоскости (температура, влаготеплота) изображено на рисунке 1.

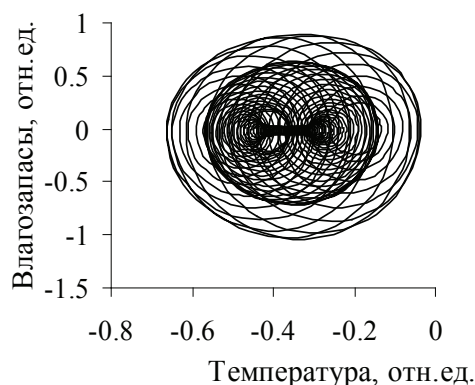


Рис. Решение системы (1)

Покажем, что это решение можно считать хаотическим также и с помощью диагностических характеристик хаоса: корреляционной и информационной размерностей.

**Корреляционная размерность.** Вычислим вероятность  $P$  обнаружить систему в двух состояниях,  $X$  и  $Y$ , расстояние между которыми в фазовом пространстве мень-

ше любого  $\varepsilon > 0$ :  $C(\varepsilon) = P\{(X, Y) : \|X - Y\| \leq \varepsilon\}$ . Эта вероятность определяется как предел [11]  $C(\varepsilon) = \lim_{n \rightarrow \infty} (\Psi(n, \varepsilon) / n^2)$  при условии, что он существует. Функция  $\Psi(n, \varepsilon)$  – это число пар точек  $i, j \leq n$ , для которых в рассматриваемой последовательности  $\{X_n\}$  расстояние  $\|X_i - X_j\| < \varepsilon$ . Если существует константа  $D$ , такая, что  $C(\varepsilon) = \text{const} \cdot \varepsilon^D$  при  $\varepsilon \rightarrow 0$ , то эта константа называется корреляционной размерностью. Другими словами, корреляционная размерность есть предел, при условии его существования  $D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} (\ln C(\varepsilon) / \ln \varepsilon)$ . Помимо функции  $C(\varepsilon)$ , для оценки корреляционной размерности рассматриваются также функции  $C_m(\varepsilon) = \lim_{n \rightarrow \infty} (\psi_m(n, \varepsilon) / n)$ , где  $\psi_m(n, \varepsilon)$  – число тех пар  $i$  и  $j$ , для которых компоненты векторов  $(X_i, X_{i+1}, \dots, X_{i+m-1})$  и  $(X_j, X_{j+1}, \dots, X_{j+m-1})$ ,  $i, j \leq n$ ,  $i \neq j$ , отличаются не более чем на  $\varepsilon > 0$ . Приведём формулы вычисления расстояний между указанными цепочками в случае одномерных и  $r$ -мерных цепочек длины  $m > 1$ . В одномерном случае имеем цепочки:  $X_i = (x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+m-1})$  и  $X_j = (x_j, x_{j+1}, \dots, x_{j+m-1})$ . При  $r = 1, 2, 3, \dots$  имеем

$$X_i = \begin{pmatrix} x_i^{(1)} & x_{i+1}^{(1)} & \dots & x_{i+m-1}^{(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_i^{(r)} & x_{i+1}^{(r)} & \dots & x_{i+m-1}^{(r)} \end{pmatrix} \text{ и } X_j = \begin{pmatrix} x_j^{(1)} & x_{j+1}^{(1)} & \dots & x_{j+m-1}^{(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_j^{(r)} & x_{j+1}^{(r)} & \dots & x_{j+m-1}^{(r)} \end{pmatrix}.$$

Расстояние между ними  $\|X_i - X_j\| = \sqrt{\frac{1}{r} \sum_{k=0}^{m-1} \left( (x_{i+k}^{(1)} - x_{j+k}^{(1)})^2 + \dots + (x_{i+k}^{(r)} - x_{j+k}^{(r)})^2 \right)}$ , где  $r$  – размерность цепочки.

Для вычисления корреляционной размерности [11] будем использовать следующую функцию:

$$\tilde{D}_{m,s} = \frac{\ln C_m(\varepsilon_s) - \ln C_m(\varepsilon_{s+1})}{\ln(\varepsilon_s) - \ln(\varepsilon_{s+1})}, \quad (3)(4!!!)$$

где  $\varepsilon_s = \varphi^s$ ,  $0 < \varphi < 1$ . Здесь  $\varepsilon_s$  задает точность вычисления корреляционной размерности. Будем вычислять корреляционную размерность для длины цепочки  $m = 1, 2, 3, 4, 5$  и  $10$ ;  $\varphi = 0.95$ , причем эта величина обратно пропорциональна числу покрытия;  $s = 20, 30, 35$  и  $40$ . Известно, что значения корреляционной размерности для «белого шума» (стохастический процесс) увеличиваются и примерно равны длине цепочки. Для решения системы (1) такую закономерность не получили (табл.).

Все значения корреляционной размерности сохраняют примерно постоянное значение при увеличении длины цепочки, что характерно для хаотических траекторий. С наибольшей точностью корреляционная размерность вычислена в последней строке таблицы.

**Корреляционная размерность системы (1), длина решения  $n = 1001$ ,  
трёхмерная траектория**

| Степень $s$ | Длина цепочки $m$ |        |        |        |        |        |
|-------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|             | 1                 | 2      | 3      | 4      | 5      | 10     |
| 20          | 1.9077            | 1.8888 | 1.9292 | 1.9448 | 1.9479 | 1.9006 |
| 30          | 1.9673            | 1.9363 | 1.9760 | 1.8643 | 2.0140 | 2.2331 |
| 35          | 1.9444            | 1.9645 | 2.3132 | 2.1738 | 2.1423 | 2.0618 |
| 40          | 2.0658            | 2.3417 | 2.2989 | 2.3309 | 2.2996 | 2.3429 |

Оценка энтропии Колмогорова [12] равна 5.329, оценка информационной размерности – 0.917. Обе последние оценки говорят о плохой предсказуемости процесса формирования речного стока, описываемого системой (1). С течением времени в такой системе могут появляться новые качества, которые невозможно предсказать, опираясь на предысторию процесса.

### Заключение

В качестве модели речного стока предложена автономная система дифференциальных уравнений, основу которой составляют уравнения теплового и водного балансов, а также динамики речного стока. Для подтверждения возможности возникновения в системе хаотических колебаний разработана методика предварительного исследования неподвижных точек исходной системы. Определив тип неподвижных точек исследуемой модели, сделали вывод о возможности возникновения в ней хаотических режимов. Величины корреляционной и информационной размерностей подтвердили хаотичность решения предложенной модели. Одни только величины этих размерностей не являются достаточными условиями возникновения хаотических режимов.

Получено, что в зависимости от выбранных величин параметров системы периодические решения системы переходят в хаотические. Это свойство детерминированного хаоса позволяет управлять им, т.е. посредством слабых воздействий переводить систему из одного режима в другой. В качестве управляющих параметров предложены величины скорости испарения и коэффициент сопротивления бассейна движению воды в замыкающий створ.

### Библиографический список

1. Найденов В.И. Нелинейная динамика поверхностных вод суши. М.: Наука, 2004. 318 с.

2. Wilcox B.P., Seyfried M.S., Matison T.H. Searching for chaotic dynamics in snow-melt runoff // Water Res. Res. 1991. V. 27. № 6. P. 1005-1010.

3. Rodriguez-Iturbe I., Entekhabi D., Lee J.-S., Bras R.L. Nonlinear Dynamics of Soil Moisture at Climate Scales. 1. Stochastic Analysis. 2. Chaotic Analysis // Water Resour. Res. 1996. V. 27. № 8. P. 1899-1915.

4. Wang B., Fang Z. Chaotic Oscillation of the tropical climate: A dynamic system theory for ENSO // J. Atmos. Sci. 1996. № 53. P. 2786-2802.

5. Zhou Y., Ma Z., Wang L. Chaotic dynamics of the flood series in the Huaihe River Basin for the last 500 years // J. Hydrol. 2002. V. 258. P. 100-110.

6. Швейкина В.И., Кожевникова И.А. Нелинейная модель колебаний речного стока с хаотическими режимами // Водное хозяйство. 2012. № 6. С. 4-13.

7. Юшкина О.А. Анализ и прогноз временной изменчивости речного стока методами нелинейной динамики: Автореф. дис. ...канд. техн. наук / Томский ун-т. Иркутск, 2009. 24 с.

8. Найденов В.И., Швейкина В.И. Земные причины водных циклов // Природа. 1997. № 5. С. 19-30.

9. Понтрягин Л.С. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: Наука, 1970. 331 с.

10. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Наука, 1967. 575 с.

11. Ширяев А.Н. Основы стохастической финансовой математики. Факты. Модели. Т. 1. М.: Фазис, 1998. 489 с.

12. Мун Ф. Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров / Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 312 с.

Материал поступил в редакцию 12.12.2016 г.

### Сведения об авторах

**Кожевникова Ирина Аркадьевна**,  
кандидат физико-математических наук, ве-

душий научный сотрудник, механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы; тел.: 8 (495) 939-16-48; irina\_kozhev@mail.ru

Швейкина Валентина Ивановна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, ИВП РАН, 119333, Москва, ул. Губкина, 3; тел.: 8(499) 135-04-67; e-mail: 9055424157@mail.ru

**I.A. KOZHEVNIKOVA**

Moscow state university named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russian Federation

**V.I. SHVEIKINA**

Institute of water problems of the Russian academy of sciences (IVP RAN), Moscow, Russian Federation

## NONLINEAR DETERMINISTIC MODEL OF RUNOFF FORMATION BASED ON THE LAWS OF NATURE

*The main purpose of the presented work is creation of a nonlinear deterministic model of river runoff formation adequately reflecting its basic properties. As such, they are considered cyclicity of river runoff and chaos. The model consists of equations of heat and water balances as well as the dynamics of the river runoff, it is a system of nonlinear autonomous differential equations. Its solution is studied by methods of the nonlinear differential equations theory. It is shown by investigation of the stability and type of fixed points of the initial system that chaotic solutions can occur in the system only if the system has unstable fixed points. Such a system is presented in the article. Also parameters which values can significantly affect the behavior of the solution are defined. The solution depending on the numerical values of the parameters is either oscillatory or chaotic. In the case of self-oscillatory solutions model reveals the mechanism of formation of cycles in river runoff. Randomness solutions confirmed by methods of deterministic chaos. In particular the value of the diagnostic characteristics of deterministic chaos: the information dimension and Kolmogorov entropy talk about the impossibility of long-term forecasting of river runoff. In the case of a self-oscillatory solutions model reveals the mechanism of cycles formation in river runoff. Randomness solutions confirmed by methods of deterministic chaos. In particular the value of the diagnostic characteristics of deterministic chaos: the information dimension and Kolmogorov entropy talk about the impossibility of long-term forecasting of river runoff. Using such characteristic of deterministic chaos as the correlation dimension, it was shown that the solution is not stochastic, but has the property of chaotic oscillations. The main results of this work are the following. The nonlinear model of river runoff is presented, which has the self-oscillations solution or chaotic oscillations. It is offered the technique of the preliminary study of the system of differential equations for the possibility of occurrence of chaotic solutions. Control parameters, whose values define the behavior of the solutions, are selected.*

*Autonomous system of differential equations, correlation and information dimensions, fixed points, deterministic chaos.*

### References

1. Naidenov V.I. Nelinejnaya dinamika pov-erhostnyh vod sushi. M.: Nauka, 2004. 318 s.
2. Wilcox B.P., Seyfried M.S., Matison T.H. Searching for chaotic dynamics in snow-melt runoff // Water Res. Res. 1991. V. 27. № 6. P. 1005-1010.
3. Rodriguez-Iturbe I., Entekhabi D., Lee J.-S., Bras R.L. Nonlinear Dynamics of Soil Moisture at Climate Scales. 1. Stochastic Analysis. 2. Chaotic Analysis // Water Resour. Res. 1996. V. 27. № 8. P. 1899-1915.
4. Wang B., Fang Z. Chaotic Oscillation of the tropical climate: A dynamic system theory for ENSO // J. Atmos. Sci. 1996. № 53. P. 2786-2802.
5. Zhou Y., Ma Z., Wang L. Chaotic dynamics of the flood series in the Huaihe River Basin for the last 500 years // J. Hydrol. 2002. V. 258. P. 100-110.
6. Shveikina V.I., Kozhevnikova I.A. Nelinejnaya model kolebanij rechnogo stoka s hoatich-eskimi rezhimami // Vodnoe hozyajstvo. 2012. № 6. S. 4-13.
7. Yushkina O.A. Analiz i prognoz vre-mennoj izmenchivosti rechnogo stoka metodami neliejnoj dinamiki: Avtoref. dis. ...cand. tehn. nauk / Tomsky un-t. Irkutsk, 2009. 24 s.
8. Naidenov V.I., Shveikina V.I. Zemnye prichiny vodnyh tsiklov // Priroda. 1997. № 5. S. 19-30.

9. Pontryagin L.S. Obyknovennye differentsial'nye uravneniya. M.: Nauka, 1970. 331 s.

10. Gantmaher F.R. Teoriya matrits. M.: Nauka, 1967. 575 s.

11. Shiryayev A.N. Osnovy stohaicheskoy finansovoy matematiki. Fakty. Modeli. T. 1. M.: Fazis, 1998. 489 s.

12. Mun F. Hoaticheskie kolebaniya: Vvodny kurs dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov / Per. s angl. M.: Mir, 1990. 312 s.

The material was received at the editorial office  
12.12.2016

#### Information about the authors

**Kozhevnikova Irina Arkadjevna**, candidate of physical-mathematical sciences, senior researcher, leading research officer, mechanical – mathematical department, MSU named after M.V. Lomonosov, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskie Gory; tel.: 8 (499) 162-06-45; irina\_kozhev@mail.ru

**Shveikina Valentina Ivanovna**, candidate of geographical sciences, senior researcher, IVP RAN, 119333, Moscow, ul. Gubkina, 3; tel.: 8(499) 135-04-67; e-mail: 9055424157@mail.ru

УДК 502/504:551.48: 626.81: 627.81

#### В.И. КЛЁПОВ

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

#### И.В. РАГУЛИНА

Областное государственное бюджетное учреждение дополнительного профессионального образования «Курский институт развития образования», г. Курск, Российская Федерация

### ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ МОСКВЫ

*Рост численности населения Московского региона, развитие промышленности и сельского хозяйства обусловили увеличение антропогенной нагрузки на реку Москву. Комплекс показателей, характеризующих степень пригодности воды для того или иного вида хозяйственного использования, определяет качество воды [1]. Критерием качества воды является признак, по которому производится оценка качества воды по видам водопользования [2]. В статье учитывались такие загрязняющие вещества, как БПК<sub>5</sub>(O<sub>2</sub>), нефтепродукты, фенолы, аммонийный и нитритный азот. Рассмотрено поступление данных загрязняющих веществ в воду в верхней части бассейна реки Москвы. Критериями оценки качества вод может являться любая совокупность количественных показателей, характеризующих свойства изучаемых объектов и используемых для их классифицирования и ранжирования [3]. Оценка экологического состояния поверхностных водотоков является корректной на основе данных специальных режимных наблюдений. В целях получения информации о качестве поверхностных вод были проанализированы данные Государственного водного кадастра за период с 1981 по 2011 гг. и дана оценка качества воды реки Москвы по комплексу гидрохимических показателей с 2005 по 2011 гг.*

*Государственный водный кадастр, качество воды р. Москвы, загрязняющие воду вещества, индекс загрязнения воды, бассейн р. Москвы, источник загрязнения воды.*

**Введение.** В современных условиях качество водных ресурсов в бассейне реки Москвы определяется сочетанием естественных особенностей и антропогенных нагрузок выше водохранилищ, процессов внутри водоемов [4]. Перечень [5] нормируемых загрязняющих веществ для водохранилищ Москворецкой системы водоснабжения должен устанавливаться исходя из его отнесения к природным водным объектам, которые в результате деятельности человека подверглись физическим изменениям, приведшим к существенному изменению их основных характеристик: гидрологических, морфометрических, гидрохимических и др.

Перечень определяемых гидрохимических показателей воды устанавливается с учетом программы проведения режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод [6].

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК<sub>р-х</sub>), как правило, более жесткие, чем нормативы водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [7].

При определении нормируемых показателей в качестве норматива концентраций использованы опубликованные ПДК, максимально жесткие между рыбохозяйственными и гигиеническими ПДК [8]. Следует отметить,



что оценка экологического состояния поверхностных водотоков только на основе данных о составе и концентрациях загрязнителей в воде и во взвешенном веществе не может быть корректной без специальных режимных наблюдений из-за сильных флуктуаций расходов воды, концентраций взвешенных и растворенных веществ в течение года.

В работе отражены собранные и проанализированные данные Государственного водного кадастра за период с 1981 по 2011 гг. Для анализа отдельных показателей загрязняющих воду веществ на участке реки Москвы г. Звенигород – г. Москва были выбраны четыре створа:

Створ № 1 – р. Москва – г. Звенигород, 0,3 км выше города;

Створ № 2 – р. Москва – г. Звенигород, 1,4 км ниже города;

Створ № 3 – р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,3 км выше Бабьегородской плотины;

Створ № 4 – р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссе-моста кольцевой автодороги.

**Методы исследования.** На рисунке 1 в форме графика представлена характеристика среднегодовой концентрации (в ПДК) загрязнения воды в реке Москве фенолом за рассматриваемый период по выбранным для исследования створам.

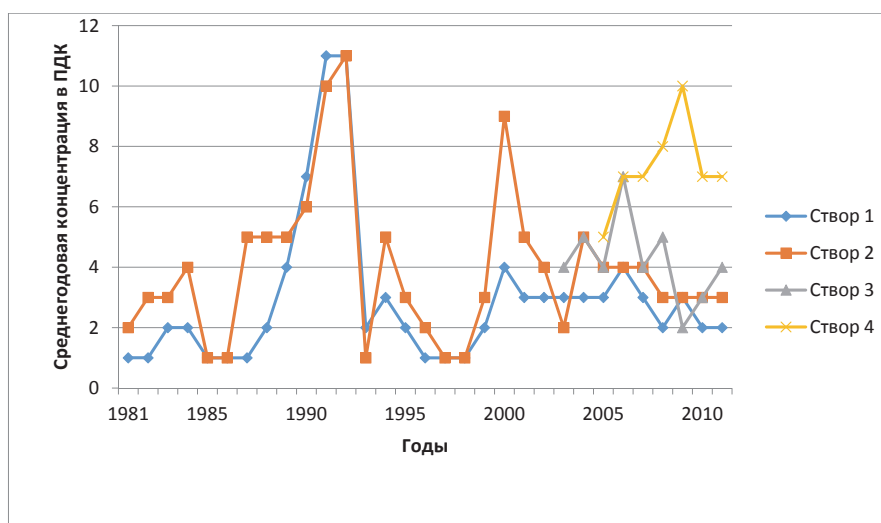


Рис. 1. Загрязнение фенолом реки Москвы

Загрязнение фенолом воды реки Москвы в верхнем ее течении представляет (рис. 1) следующие основные закономерности.

За весь рассматриваемый период наблюдений уровень загрязнения в 1 и 2 створах фенолом является невысоким: в среднем от 1,0 мг/л до 3,0 мг/л. В данных створах за весь рассматриваемый период наблюдений самый высокий уровень загрязнения (10,0-11,0 мг/л) был в 1991 и 1992 гг. А в 1993 г. концентрация резко снизилась до 1,0-2,0. Второй пик резкого увеличения загрязнения фенолом (до 9,0) в створе № 2 наблюдался в 2000 г.

Третий створ характеризуется небольшим разбросом значений по годам. В 2003 г. (начало наблюдений) в данном створе содержание фенола составило 4,0 мг/л. В последующие годы концентрация вещества в створе незначительно колебалась: от 3,0 до 5,0. Однако с 2008 г. явно прослеживается тенденция постепенного снижения концентрации с минимальным показателем 2,0 в 2009 г. Концентрация фенола в 4 створе

превышает среднегодовые арифметические показатели предыдущих створов: их перепады составляют от 5,0 до 10,0. При этом также сохраняется последовательное накопительное увеличение концентрации фенолов при движении вниз по течению реки Москвы. Например, в 2011 г. динамика в рассматриваемых четырех створов была следующей: 2,0-3,0-4,0-7,0.

Анализ данных загрязнения **нефтепродуктами** воды р. Москвы показывает, что первый створ отличается стабильно низкими значениями за весь рассматриваемый период: от 2,0 мг/л до 4,0 мг/л. На этом фоне выделяется единичное превышение концентрации (до 6,0) в 1981 г.

Створ № 2 отличается таким же незначительным, но более высоким превышением показателей: от 2,0 до 6,0. Однако в данном створе максимальная концентрация (8,0) наблюдалась в 1988 г.

Следует отметить, что в данных двух створах с 2008 по 2012 гг. среднегодовая



концентрация снижалась до минимальных значений: < 1.

Что касается створа № 3, то можно отметить, что за период с 2003 по 2011 гг. уровень содержания нефтепродуктов стабильно снижался с 4,0 до 2,0.

Для четвертого створа характерно отличие от других. В период с 2005 до 2011 гг. явно прослеживается повышенная концентрация данного загрязнителя по сравнению с концентрацией в других створах. Ее уровень колебался от 3,0 (минимальное значение в 2006 г.) до 6,0.

Результаты анализа данных загрязнения БПК<sub>5</sub> (O<sub>2</sub>) показывают, что:

- в створе № 1 за весь рассматриваемый период наблюдений уровень загрязнения был невысоким: от 1,77 мг/л до 7,1 мг/л;

- во втором створе содержание загрязняющего вещества БПК<sub>5</sub> практически не отличается от предыдущего створа. В 1994 г. наблюдалось наиболее высокое значение концентрации БПК<sub>5</sub> (7,3 мг/л), однако в 1995 г. уровень содержания вещества заметно снизился до 2,98 мг/л и в последующие годы держался примерно на том же уровне при незначительном колебании;

- для третьего створа характерен небольшой разброс значений по годам: в 2003 г. (начало наблюдений) в данном створе содержание БПК<sub>5</sub> составило 3,19 мг/л. В последующие годы концентрация вещества в створе постепенно незначительно увеличивалась до 2006 г., а потом также медленно снижалась;

- в створе № 4 наиболее высокий уровень концентраций (более 8,0 мг/л) характерен для 2005 г. Однако в период с 2007 по 2011 гг. он практически не изменялся, но оказался выше по сравнению с другими створами.

Прослеживается закономерность последовательного увеличения концентрации БПК<sub>5</sub> от первого к четвертым створам за рассматриваемый период. Так, в 2011 г. изменение концентрации происходило от 2,21-2,95-3,36-6,04, что объясняется увеличением источников загрязнения реки Москвы при движении вниз по течению от города Зеленограда до города Москвы и накоплением загрязняющих веществ.

Анализ данных загрязнения **нитритным азотом** воды реки Москвы показывают, что первый створ характерен стабильно низкими значениями за весь рассматриваемый период (от 1,0 мг/л до 2,0 мг/л). На этом фоне выделяется единичное превышение концентрации до 5,0 в 1993 г. Створ № 2 отличается таким же незначительным пре-

вышением показателей. Однако в данном створе максимальная концентрация наблюдалась в 1992 г. Что касается створа № 3, то можно отметить, что за период с 2007 по 2011 гг. уровень содержания нитритного азота находится практически в одинаковом интервале: от 2,0 мг/л до 1,0 мг/л. В 2006 г. отмечен значительный скачок среднегодовой арифметической концентрации нитритного азота – 5,0 мг/л. Данные по четвертому створу имеют существенное отличие характеристики загрязнения от других. Например, достаточно высокое среднегодовое содержание нитритного азота наблюдалось в 2006 г. – 20,0. Далее концентрация идет на спад, в 2011 г. снизившись до 4,0 мг/л. А в 2012 г. уровень загрязняющего вещества вновь поднялся до отметки 10,0.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Для определения оценки современного состояния воды в верхней части бассейна реки Москвы использована одна из методик оценки качества водоемов по комплексу гидрохимических показателей – Гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ) [9]. Этот индекс представляет собой среднюю долю превышения ПДК по строго лимитированному числу индивидуальных ингредиентов:

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i},$$

где  $C_i$  – концентрация компонента (в ряде случаев – значение физико-химического параметра);  $n$  – число показателей, используемых для расчета индекса,  $n = 6$ ;  $\text{ПДК}_i$  – установленная величина норматива для соответствующего типа водного объекта [10].

На примере загрязнения поверхностных вод реки Москвы за период с 2005 по 2012 гг., при использовании исходных данных, представленных в Государственном водном кадастре, были рассчитаны показатели ИЗВ. С использованием данной методики выполнена оценка качества воды реки Москвы для выбранных створов. Полученные данные представлены в таблице 1.

Из данных таблицы 1 следует, что в период с 2005 по 2012 гг. качество воды реки Москвы изменилось от класса III «Умеренно загрязненная» и IV «Загрязненная» в 2005 г. до класса VI «Очень загрязненная» в 2012 г. (створ «р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,3 км выше Бабыгородской плотины») и до класса VII «Чрезвычайно загрязненная» (створ «р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссеиного мо-

ста кольцевой автодороги»). Изменение качества воды по створам в рассматриваемый период времени представлено в таблице 2.

Как следует из данных таблицы 2, гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ) изменялся от минимального зна-

чения 1,6 в 2008 г. до максимального 3,0 в 2009 г. Соответственно качество воды реки Москвы в данном створе в рассмотренном периоде относилось к классу III «Умеренно загрязненная» и IV классу «Загрязненная».

Таблица 1

**Оценка качества воды р. Москвы  
в зависимости от значения индекса загрязнения**

| № /№<br>п/п | Створ забора проб<br>(Государственный<br>водный кадастр)                                           | Значения<br>ИЗВ | Воды                     | Классы<br>качества<br>вод | Источник<br>загрязнения                                                                                |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2005 год    |                                                                                                    |                 |                          |                           |                                                                                                        |
| 1           | р. Москва – г. Звенигород,<br>0,3 км выше города                                                   | 2,05            | загрязненные             | IV                        | организованный сброс<br>сточных вод отсутствует                                                        |
| 2           | р. Москва – г. Звенигород,<br>1,4 км ниже города                                                   | 2,1             | загрязненные             | IV                        | ТОО «Водоканал», сана-<br>торий им. В.П. Чкалова                                                       |
| 3           | р. Москва – г. Москва,<br>в черте города, 0,3 км выше<br>Бабьегородской плотины                    | 2,5             | загрязненные             | IV                        | Мосводоканал, МП<br>«Мосводосток», транзит<br>сточных вод                                              |
| 4           | р. Москва – г. Москва,<br>в черте города, 0,01 км<br>выше шоссе-ного моста<br>кольцевой автодороги | 3,5             | загрязненные             | IV                        | объединение «Курья-<br>новская станция аэра-<br>ции», транзит сточных<br>вод                           |
| 2006 год    |                                                                                                    |                 |                          |                           |                                                                                                        |
| 1           | р. Москва – г. Звенигород,<br>0,3 км выше города                                                   | 1,8             | умеренно<br>загрязненные | III                       | организованный сброс<br>сточных вод отсутствует                                                        |
| 2           | р. Москва – г. Звенигород,<br>1,4 км ниже города                                                   | 2,4             | загрязненные             | IV                        | МУП «Водоканал»                                                                                        |
| 3           | р. Москва – г. Москва,<br>в черте города, 0,3 км<br>выше Бабьегородской<br>плотины                 | 3,3             | загрязненные             | IV                        | Северные и Рублёвские<br>водопроводные станции<br>(«Мосводоканал»), тран-<br>зит сточных вод           |
| 4           | р. Москва – г. Москва,<br>в черте города, 0,01 км<br>выше шоссе-ного моста<br>кольцевой автодороги | 5,1             | грязные                  | V                         | объединение «Курья-<br>новские очистные<br>сооружения» («Мосводо-<br>канал»), транзит сточ-<br>ных вод |
| 2007 год    |                                                                                                    |                 |                          |                           |                                                                                                        |
| 1           | р. Москва – г. Звенигород,<br>0,3 км выше города                                                   | 1,8             | умеренно<br>загрязненные | III                       | организованный сброс<br>сточных вод отсутствует                                                        |
| 2           | р. Москва – г. Звенигород,<br>1,4 км ниже города                                                   | 2,1             | загрязненные             | IV                        | МУП «Звенигородское<br>ЖКХ»                                                                            |
| 3           | р. Москва – г. Москва,<br>в черте города, 0,3 км выше<br>Бабьегородской плотины                    | 2,7             | загрязненные             | IV                        | нет сведений                                                                                           |
| 4           | р. Москва – г. Москва,<br>в черте города, 0,01 км<br>выше шоссе-ного моста<br>кольцевой автодороги | 5,2             | грязные                  | V                         | объединение «Курья-<br>новская станция аэра-<br>ции»                                                   |
| 2008 год    |                                                                                                    |                 |                          |                           |                                                                                                        |
| 1           | р. Москва – г. Звенигород,<br>0,3 км выше города                                                   | 1,6             | умеренно<br>загрязненные | III                       | организованный сброс<br>сточных вод отсутствует                                                        |
| 2           | р. Москва – г. Звенигород,<br>1,4 км ниже города                                                   | 1,9             | умеренно<br>загрязненные | III                       | МУП «Звенигородское<br>ЖКХ»                                                                            |
| 3           | р. Москва – г. Москва,<br>в черте города, 0,3 км выше<br>Бабьегородской плотины                    | 2,4             | загрязненные             | IV                        | ГУП «Мосводосток»,<br>ОАО «Пассажирский<br>порт»                                                       |

|          |                                                                                         |      |                          |     |                                                                      |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------|
| 4        | р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссе-го моста кольцевой автодороги | 4,7  | грязные                  | V   | нет сведений                                                         |
| 2009 год |                                                                                         |      |                          |     |                                                                      |
| 1        | р.Москва – г. Звенигород, 0,3 км выше города                                            | 3,0  | загрязненные             | IV  | нет сведений                                                         |
| 2        | р. Москва – г. Звенигород, 1,4 км ниже города                                           | 2,0  | загрязненные             | IV  | предприятия ЖКХ                                                      |
| 3        | р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,3 км выше Бабьегородской плотины               | 2,1  | загрязненные             | IV  | предприятия ЖКХ                                                      |
| 4        | р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссе-го моста кольцевой автодороги | 3,3  | загрязненные             | IV  | предприятия ЖКХ                                                      |
| 2011 год |                                                                                         |      |                          |     |                                                                      |
| 1        | р. Москва – г. Звенигород, 0,3 км выше города                                           | 1,6  | умеренно загрязненные    | III | нет сведений                                                         |
| 2        | р.Москва – г. Звенигород, 1,4 км ниже города                                            | 2,1  | загрязненные             | IV  | МУП «Звенигородское ЖКХ»                                             |
| 3        | р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,3 км выше Бабьегородской плотины               | 2,7  | загрязненные             | IV  | ГУП «Водосток», ОАО «Пассажирский порт» и др.                        |
| 4        | р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссе-го моста кольцевой автодороги | 3,8  | загрязненные             | IV  | Курьяновские очистные сооружения, ГУП «Мосводосток»                  |
| 2012 год |                                                                                         |      |                          |     |                                                                      |
| 1        | р. Москва – г. Звенигород, 0,3 км выше города                                           | 2,5  | загрязненные             | IV  | ООО «Лесные Поляны»                                                  |
| 2        | р. Москва – г. Звенигород, 1,4 км ниже города                                           | 2,6  | загрязненные             | IV  | МУП «Звенигородский городской канал», МП «Горные инженерные системы» |
| 3        | р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,3 км выше Бабьегородской плотины               | 7,0  | очень загрязненные       | VI  | ГУП «Мосводосток»                                                    |
| 4        | р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссе-го моста кольцевой автодороги | 11,3 | чрезвычайно загрязненные | VII | Курьяновские очистные сооружения, ГУП «Мосводосток»                  |

Соответственно качество воды реки Москвы в створе «р. Москва – г. Звенигород, 1,4 км ниже города» в рассмотренном периоде относилось к классу IV «Загрязненная». Исключение составил 2008 г., когда был определен класс III «Умеренно загрязненная». Гидрохимический индекс загрязнения воды изменялся от минимального значения 1,9 в 2008 г. до максимального 2,6 в 2012 г. Качество воды реки Москвы в створе «р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,3 км выше Бабьегородской плотины» в рассмотренном периоде относилось к классу IV «Загрязненная». Значения ИЗВ изменялись от минимального значения 2,1 в 2009 г. до макси-

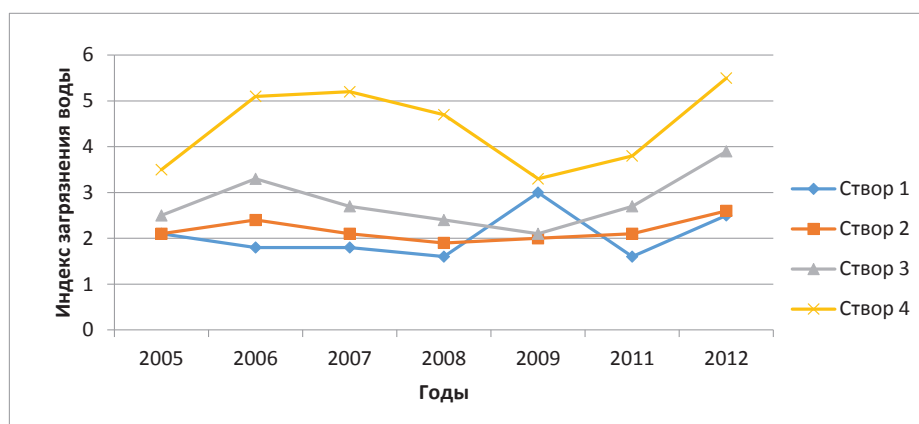
мального 7,0 в 2012 г. Качество воды реки Москвы в створе «р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссе-го моста кольцевой автодороги» с 2005 г. по 2012 г. относилось к различным классам загрязнения: IV «Загрязненная» в 2005, 2009, 2011 гг., V «Грязная» в 2006-2008 гг., 2012 г. Гидрохимический индекс загрязнения воды в данном створе резко изменялся от минимального значения 3,3 в 2009 г. до максимального 11,3 в 2012 г.

Динамика изменения уровня гидрохимического загрязнения воды (ИЗВ) реки Москвы по створам на участке от г. Звенигорода до г. Москва представлена на рисунке 2.

Таблица 2

**Оценка качества воды р. Москвы на участке 0,3 км выше г. Звенигорода до г. Москвы**

| № /№                                                                                                                          | год  | Значения ИЗВ | Воды                  | Классы качества вод |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------|-----------------------|---------------------|
| створ «р. Москва – г. Звенигород, 0,3 км выше города» в период с 2005 года по 2012 год                                        |      |              |                       |                     |
| 1                                                                                                                             | 2005 | 2,1          | Загрязненные          | IV                  |
| 2                                                                                                                             | 2006 | 1,8          | умеренно загрязненные | III                 |
| 3                                                                                                                             | 2007 | 1,8          | умеренно загрязненные | III                 |
| 4                                                                                                                             | 2008 | 1,6          | умеренно загрязненные | III                 |
| 5                                                                                                                             | 2009 | 3,0          | загрязненные          | IV                  |
| 6                                                                                                                             | 2011 | 1,6          | умеренно загрязненные | III                 |
| 7                                                                                                                             | 2012 | 2,5          | загрязненные          | IV                  |
| створ «р. Москва – г. Звенигород, 1,4 км ниже города» в период с 2005 года по 2012 год                                        |      |              |                       |                     |
| 1                                                                                                                             | 2005 | 2,1          | загрязненные          | IV                  |
| 2                                                                                                                             | 2006 | 2,4          | загрязненные          | IV                  |
| 3                                                                                                                             | 2007 | 2,1          | загрязненные          | IV                  |
| 4                                                                                                                             | 2008 | 1,9          | умеренно загрязненные | III                 |
| 5                                                                                                                             | 2009 | 2,0          | загрязненные          | IV                  |
| 6                                                                                                                             | 2011 | 2,1          | загрязненные          | IV                  |
| 7                                                                                                                             | 2012 | 2,6          | загрязненные          | IV                  |
| створ «р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,3 км выше Бабьегородской плотины» в период с 2005 года по 2012 год            |      |              |                       |                     |
| 1                                                                                                                             | 2005 | 2,5          | загрязненные          | IV                  |
| 2                                                                                                                             | 2006 | 3,3          | загрязненные          | IV                  |
| 3                                                                                                                             | 2007 | 2,7          | загрязненные          | IV                  |
| 4                                                                                                                             | 2008 | 2,4          | загрязненные          | IV                  |
| 5                                                                                                                             | 2009 | 2,1          | загрязненные          | IV                  |
| 6                                                                                                                             | 2011 | 2,7          | загрязненные          | IV                  |
| 7                                                                                                                             | 2012 | 3,9          | загрязненные          | IV                  |
| створ «р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссе моста кольцевой автодороги» в период с 2005 года по 2012 год |      |              |                       |                     |
| 1                                                                                                                             | 2005 | 3,5          | загрязненные          | IV                  |
| 2                                                                                                                             | 2006 | 5,1          | грязные               | V                   |
| 3                                                                                                                             | 2007 | 5,2          | грязные               | V                   |
| 4                                                                                                                             | 2008 | 4,7          | грязные               | V                   |
| 5                                                                                                                             | 2009 | 3,3          | загрязненные          | IV                  |
| 6                                                                                                                             | 2011 | 3,8          | загрязненные          | IV                  |
| 7                                                                                                                             | 2012 | 5,5          | грязные               | V                   |



**Рис. 2. Динамика изменения уровня гидрохимического загрязнения воды р. Москвы (2005-2012 гг.)**

Как показывает анализ данных рисунка 2, уровень гидрохимического загрязнения воды реки Москвы варьировал от минимального значения показателя 1,6 (2008, 2011 гг.) в створе № 1 до максимального значения 5,5 (2012 г.) в створе № 4. В целом можно увидеть снижение ИЗВ по створам к 2009 г. (исключение значения – по створу № 1), а затем синхронный рост до 2012 г. с постепенным и последовательным увеличением значений загрязнения.

### Выводы

1. В статье рассмотрены и проанализированы данные Государственного водного кадастра за период с 1981 по 2011 гг. и дана оценка качества воды верхнего течения реки Москвы по комплексу гидрохимических показателей (БПК<sub>5</sub>, нитритный азот, нефтепродукты, фенолы) для четырех створов реки.

2. Как показали результаты исследования, среднегодовая концентрация нефтепродуктов имеет повышенные показатели в створах № 3 и № 4 по сравнению со створами № 1 и № 2. Наименьшие среднегодовые значения концентраций загрязняющих веществ наблюдаются в створах № 1 и № 2 (г. Звенигород). Наибольшие среднегодовые значения концентраций загрязняющих веществ имеют место в створах № 3 и № 4 (г. Москва). Для них характерны максимальные значения ПДК с большим разбросом по всем показателям за рассматриваемый период.

3. На примере загрязнения поверхностных вод реки Москвы за период с 2005 по 2012 гг., с использованием исходных данных, представленных в Государственном водном кадастре, были рассчитаны показатели гидрохимического индекса загрязнения воды – ИЗВ.

4. Как показали выполненные расчеты, современное состояние качества водных ресурсов в верхней части бассейна реки Москвы в целом можно отнести к классу качества вод «Загрязненные» (IV) на большей части реки и «Грязные» (V) – в створе «р. Москва – г. Москва, в черте города, 0,01 км выше шоссе моста кольцевой автодороги» в 2012 г.

### Библиографический список

1. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. Утв. Госкомгидрометом СССР 22.09.1986 г. № 250-1163. М., 1986. 5 с.

2. Попов А., Сечкова Н., Оболдин Г. Комплексные критерии качества вод и технологий // Вода Magazine. № 1. 2016. С. 25-36.

3. Рагулина И.В., Клёпов В.И. Количество и качество водных ресурсов в бассейне реки Москвы // Экология. Экономика. Информатика: Сборник статей. В 2-х т. Т. 1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Вып. 1. Ростов-н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 629.

4. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03. М.: Минздрав России, 2003. 27 с.

5. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты 7.РД 52.24. М.: Изд-во Министерства природных ресурсов РФ, 2007. С. 309-330.

6. Методические указания «Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета» / РД 52.24.309. М.: Изд-во Министерства природных ресурсов РФ, 2011. 35 с.

7. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.

1. Веницианов Е.В. Экологический мониторинг: шаг за шагом / Е.В. Веницианов и др. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. 252 с.

2. ГОСТ 17.1.1.01-77 «Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения». 1978. С. 23-31.

3. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

Материал поступил в редакцию 07.02.2017 г.

### Сведения об авторах

**Клёпов Владимир Ильич**, доктор технических наук, доцент кафедры «Гидрология, гидрогеология и регулирование стока», Москва; e-mail: viklepov@rambler.ru

**Рагулина Ирина Васильевна**, старший преподаватель кафедры естественно-математического образования ОГБУ ДПО «Курский институт развития образования», Курск, 305003, ул. Садовая, 31; тел.: 8(4712) 70-77-93; e-mail: ragulinaiv@mail.ru.



**V.I. KLEPOV**

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

**I.V. RAGULINA**

Regional state budget institution of additional professional education «Kursk institute of education development», Russia, Kursk

## **QUALITATIVE ASSESSMENT OF WATER RESOURCES IN THE UPPER PART OF THE MOSCOW RIVER BASIN**

*The population growth of the Moscow region, industrial and agricultural development has led to the increase of the anthropogenic load on the Moscow river. Complex of indicators which characterize the degree of water suitability for the practical use determines the water quality [1]. The water quality criterion is a feature by which the water qualitative assessment according to the type of water uses is made [2]. In this article such pollutants as Biological Oxygen Demand<sub>5</sub> (O<sub>5</sub>), petrochemicals, phenols, ammonium and nitrite nitrogen are considered. There is considered these pollutants entering in the upper basin of the Moscow river. As the water quality assessment criterion can be used any complex of quantity indices which characterize properties of the objects under studying and used for their classification and ranking [3]. Assessment of the ecological state of surface watercourses can be correct in the case of special monitoring observations data. In order to obtain the information about the quality of surface water the data of the State Water Cadastre for a period of 1981-2011 were analyzed and assessment of the water quality of the Moscow River according to the complex of hydro chemical indicators from 2005 to 2011 was given.*

*State water cadastre, quality of the Moscow river water, water pollutants, water impurity index, the Moscow River basin, sources of water pollution.*

### **References**

1. Vremennye metodicheskie ukazaniya po complexnoj otsenke kachestva poverhnostnyh i morskikh vod. Utv. Goskomhydrometom SSSR 22.09.1986 g. № 250-1163. M., 1986. 5 s.
2. Popov A., Sechkova N., Oboldin G. Kompleksnye kriterii kachestva vod i tehnologij // Voda Magazine. № 1. 2016. S. 25-36.
3. Ragulina I.V., Klepov V.I. Kolichestvo i kachestvo vodnyh resursov v bassejne reki Moskvy // Ecologiya. Ekonomika. Informatika: Sbornik statej. V 2-h t. T. 1: Sistemny analiz i modelirovanie ekonomicheskikh i ekologicheskikh system. Vyp. 1. Rostov-n/D: Izd-vo YUNTS RAN, 2016. S. 629.
4. Predeljno-dopustimye kontsentratsii (PDK) himicheskikh veshchestv v vode vodnyh objektov hozyaistvenno-pitjevogo i kuljturno-bytovogo vodopolzovaniya: Gigienicheskie normativy GN2.1.5.1315-03. M.: Minzdrav Rossii, 2003. 27 s.
5. Metodicheskie ukazaniya po razrabotke normativov dopustimogo vozdejstviya na vodnye objekty 7. RD52.24. M.: Izd-vo Ministerstva prirodnih resursov RF, 2007. S. 309-330.
6. Metodicheskie ukazaniya «Organizatsiya i provedenie rezhimnyh nablyudenij za zagryazneniem poverhnostnyh vod sushi na seti Roshydrometa» / RD52.24.309. M.:

Izd-vo Ministerstva prirodnih resursov RF, 2011. 35 s.

7. Reimers N.F. Prirodopolzovanie: Slovarj-spravochnik. M.: Mysl, 1990. 637 s.

8. Venitsianov E.V. Ecologicheskij monitoring: shag za shagom / E.V. Venitsianov i dr. M.: RHTU im. D.I. Mendeleeva, 2003. 252 s.

9. GOST 17.1.1.01-77 «Ohrana prirody. Hydrosfera. Ispolzovanie i ohrana vod. Osnovnye terminy i opredeleniya». 1978. S. 23-31.

10. Shitikov V.K., Rosenberg G.S., Zinchenko T.D. Kolichestvennaya hydroecologiya: metody sistemnoj identifikatsii. Toljyatti: IEVB RAN, 2003. 463 s.

The material was received at the editorial office  
07.02.2017

### **Information about the authors**

**Klepov Vladimir Iljich**, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Russian State Agrarian University – MAA named after C.A. Timiryazev», Russia, Moscow; e-mail: viklepov@rambler.ru

**Ragulina Irina Vasiljevna**, Regional State Budget Institute of Additional Professional Education «Kursk Institute of Education Development», Russia, Kursk, 305003, ul. Sadovaya, 31; tel.: 8(4612)70-77-93; e-mail: ragulinaiv@mail.ru.

УДК 502/504:551.435.1

**К.Н. АНАХАЕВ, З.Т. АКШАЯКОВ, Х.А. АНАХАЕВ**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт» Росгидромета (ФГБУ «ВГИ»), г. Нальчик, Кабардино-Балкария, Российская Федерация

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНО-ПЛОЩАДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОКРУГЛЫХ ТЕЛ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ**

*При обследованиях различных природных объектов во многих случаях возникает необходимость срочной оценки объемно-площадных характеристик завалов, отдельных скальных обломков, блоков, а также объемов аккумулярованных прорывоопасных водоемов и др., особенно в оперативных условиях возникновения чрезвычайных ситуаций. Аналогичные вопросы возникают также при определении площадей и объемов природных округлых и округло-усеченных тел (камней, валунов, озер, холмов, различных выемок и насыпей), расположенных в труднодоступных местах. При таких условиях для принятия неотложных защитных мер наиболее востребованы именно упрощенные расчетные зависимости определения их объемно-площадных характеристик. На основе теоретического анализа и обработки данных экспериментов с 32 округлыми и округло-усеченными камнями получены аналитические зависимости для определения объемно-площадных характеристик различных округлых тел произвольной формы по значениям их внешних размеров. Для частных случаев геометрически правильных тел: эллипсоида, шара, полушара и др. – предложенные зависимости совпадают с известными точными формулами. Предложенные расчетные зависимости могут быть использованы при оперативных гидрологических, геоморфологических и гидротехнических расчетах естественных и искусственных водных объектов, а также для нахождения объемов, площадей, периметра и других характеристик округлых и округло-усеченных тел и емкостей произвольной формы, в том числе расположенных в труднодоступных местах.*

*Округлое тело, округло-усеченное тело, валун, озеро, холм, выемка, объем тела, площадь поверхности, периметр кругового тела.*

**Введение.** При обследованиях различных природных объектов во многих случаях возникает необходимость определения их объемно-площадных характеристик, особенно в оперативных условиях возникновения чрезвычайных ситуаций. Например, землетрясение 12 мая 2008 г. в Китае привело к массовым оползням и обрушениям береговых склонов с завалом автодорог и перекрытием русел множества рек в труднодоступных ущельях. Ожидаемые прорывы завалов прямо угрожали масштабным затоплением большого числа населенных пунктов [1]. В этих тяжелых условиях для принятия неотложных оперативных защитных мер требовалась срочная оценка объемно-площадных характеристик завалов, отдельных скальных обломков и блоков, а также объемов аккумулярованных прорывоопасных водоемов и др., для чего оказались наиболее востребованными именно упрощенные расчетные зависимости.

Аналогичные вопросы возникают также при определении площадей и объемов природных округлых и округло-усеченных тел (камней, валунов, озер, холмов, различных выемок и насыпей), в том числе и при расположе-

нии их в труднодоступных местах: под водой, в космосе (астероиды и др.), в теле живых существ и т.д. Особую актуальность эти вопросы приобретают, в частности, при активизации камнепадных процессов на горных склонах, представляющих прямую угрозу жизнедеятельности населения и различным объектам экономики: зданиям и сооружениям, железным и автомобильным дорогам, линиям электропередач, газопроводам и т.д. Для защиты от камнепадов используют различные инженерные сооружения (бетонные и железобетонные стенки, камнезащитные сетки типа «Geobrugg», «Massaferri» и др.), при расчетах которых на прочность и устойчивость неизбежно возникают вопросы по определению объемно-весовых характеристик падающих камней и валунов. При этом возникают определенные трудности по определению объемов природных валунов и камней, имеющих, как правило, неправильную геометрическую форму, что не позволяет напрямую использовать для этого математические зависимости «правильных» геометрических тел. Неверная же оценка последних может привести в конечном счете к принятию нерациональных и ошибочных технических решений. Ниже приводится вы-

вод упрощенных расчетных зависимостей для определения объемов и площадей природных и искусственных округлых и округло-усеченных тел произвольной формы (рис. 1) со средней погрешностью 2-3%.

**Материалы и методы.** Для определения объемов округлых тел преобразуем известную формулу для определения объема эллипсоида  $V_э$  с горизонтальными  $a$ ,  $b$  и вертикальной  $h$  полуосями к виду:

$$V_э = \frac{4}{3} \pi \cdot a \cdot b \cdot h = \frac{2}{3} H \cdot S_э = \frac{\pi}{6} LBH, \quad (1)$$

в которой  $S_э = \pi ab$  – максимальная площадь горизонтального сечения эллипсоида;  $L$ ,  $B$  и  $H$  – значения длины, ширины и высоты эллипсоида.

Для частного случая  $L = B = H = 2R$  формула (1) дает точное значение объема шара с радиусом  $R$  [2]:

$$V_{ш} = \frac{4}{3} \pi R^3. \quad (2)$$

Формула (1) позволяет также достаточно точно (табл. 1) находить по известным внешним размерам  $L$ ,  $B$  и  $H$  объемы округлых тел произвольной формы.

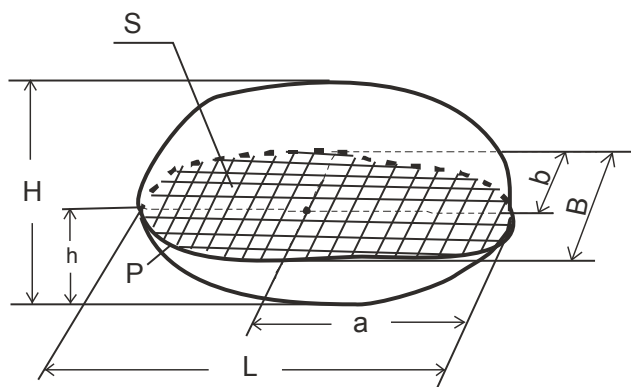


Рис. 1. Расчетная схема округлого (и округло-усеченного) тела

Для более полного учета особенностей неправильных округлых тел введем в качестве исходного параметра максимальное значение их горизонтального периметра  $P$  (рис. 1), для чего из формулы длины эллипса [3, 4]

$$P = 4a \ln \sqrt{e^\pi - (e^\pi - e^2)(1 - b^2/a^2)} \quad (3)$$

выразим малую полуось  $b$  эллипса как

$$b = \frac{L}{2} \sqrt{(e^\beta - e^2) / (e^\pi - e^2)}, \quad (4)$$

в которой  $L$  – длина округлого тела, а степень  $\beta$  равна отношению  $\beta = P/L$ .

Обозначая в формуле (1) ширину рассматриваемого тела  $B = 2b$  и подставляя в нее вместо  $b$  его значение из (4), получим расчетную зависимость для определения объема округлых тел  $V$ , выраженную через его длину  $L$ , высоту  $H$  и периметр наибольшего горизонтального сечения  $P$  как

$$V = \frac{\pi}{6} HL^2 \sqrt{(e^\beta - e^2) / (e^\pi - e^2)}. \quad (5)$$

Для частных случаев эллипсоида и шара полученная формула (5) дает точные значения их объемов.

Объемы округло-усеченных тел высотой  $h$  нижней (или верхней) части тела (рис. 1) также могут быть подсчитаны по формулам (1) и (5), если подставлять в них вместо  $H$  величину  $h$ .

Расчетные зависимости для определения округлых площадей (горизонтальных проекций)  $S$  (рис. 1) получим путем преобразований формул (1) и (5) для различных исходных значений:

- длины  $L$  и ширины  $B$

$$S = \frac{\pi}{4} LB; \quad (6)$$

- длины  $L$  и периметра  $P$

$$S = \frac{\pi}{4} L^2 \sqrt{(e^\beta - e^2) / (e^\pi - e^2)}. \quad (7)$$

Величина периметра  $P$  криволинейной округлой поверхности при заданных значениях площади  $S$  и длины  $L$  может быть определена из формулы (7):

$$P = L \cdot \ln \left[ e^2 + (e^\pi - e^2) \cdot \left( \frac{4S}{\pi L^2} \right)^2 \right]. \quad (8)$$

Для частного случая – круговой поверхности – формулы (7) и (8) дают точные значения соответственно для площади круга и длины окружности.

Для оценки погрешностей полученных расчетных зависимостей (1), (5)-(7) по нахождению объемов и площадей округлых и округло-усеченных тел произвольной формы было выполнено сравнение их результатов с опытными данными. Эксперименты проводились с 28 округлыми и 4 округло-усеченными камнями (рис. 2), действительные объемы которых определялись по объему вытесненной ими воды (при 3-кратном проведении опытов). Для каждого образца тщательным образом измерялись также их максимальные площади и основные геометрические размеры: длина  $L$ , ширина  $B$ , высота  $H$  и периметр  $P$ .

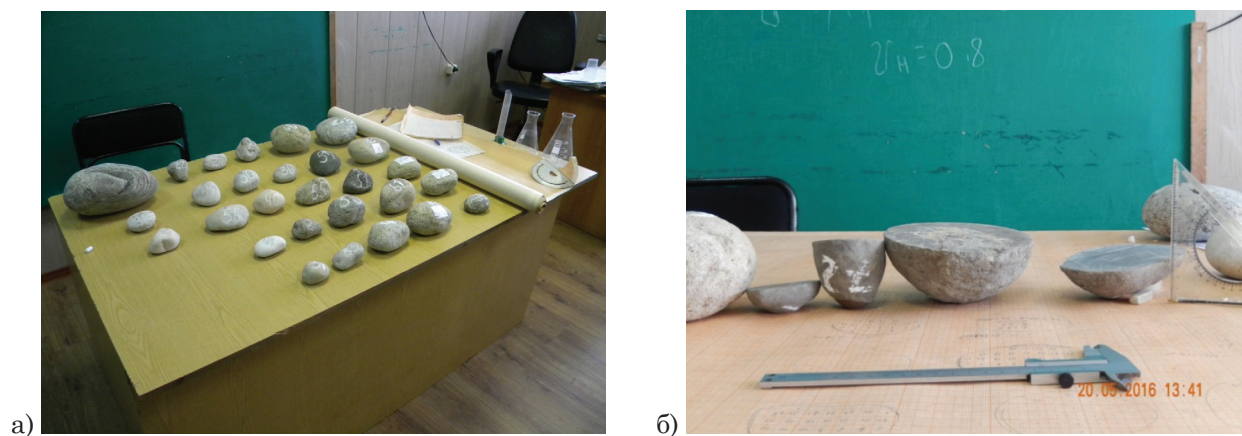


Рис. 2. Образцы экспериментальных камней:  
а) округленной формы; б) округло-усеченной формы

Сравнение опытных значений площадей (горизонтальных проекций) и объемов округлых и округло-усеченных тел (каменей) с результатами подсчетов их значений на основе аналитических зависимостей (1), (5)-(7) приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1

**Сравнение опытных значений площадей и объемов округлых тел с результатами формул (1), (5)-(7)**

| №№ образцов | Параметры камней, см           | Значения площадей $S$ , см <sup>2</sup> |        |       |        |      | Значения объемов $V$ , см <sup>3</sup> |         |       |         |      |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------------------|--------|-------|--------|------|----------------------------------------|---------|-------|---------|------|
|             |                                | опытные                                 | по (6) | %     | по (7) | %    | опытные                                | по (1)  | %     | по (5)  | %    |
| 1           | L=24,8; B=20,9; H=12,7; P=70,5 | 386,6                                   | 407,1  | +5,3  | 380,5  | -1,6 | 3182,0                                 | 3446,61 | +8,3  | 3221,61 | +1,2 |
| 11          | L=7,7; B=4,9; H=3,2; P=20,5    | 32,3                                    | 29,6   | -8,3  | 30,9   | -4,3 | 67,0                                   | 63,22   | -5,6  | 65,94   | -1,6 |
| 20          | L=7,3; B=6,1; H=3,9; P=21,3    | 37,9                                    | 35,0   | -7,7  | 35,2   | -7,3 | 89,0                                   | 90,93   | +2,2  | 91,40   | +2,7 |
| 22          | L=7,5; B=5,7; H=6,1; P=21,0    | 33,8                                    | 33,6   | -0,7  | 33,5   | -0,9 | 132,0                                  | 136,54  | +3,4  | 136,22  | +3,2 |
| 24          | L=8,5; B=5,4; H=4,8; P=22,2    | 37,4                                    | 36,0   | -3,6  | 35,7   | -4,5 | 110,0                                  | 115,36  | +4,9  | 114,23  | +3,8 |
| 25          | L=7,7; B=4,9; H=4,5; P=21,1    | 31,6                                    | 29,6   | -6,3  | 33,4   | +5,7 | 98,0                                   | 88,9    | -9,3  | 100,19  | +2,2 |
| 31          | L=7,8; B=6,5; H=4,0; P=22,3    | 41,2                                    | 39,8   | -3,4  | 38,2   | -7,3 | 100,0                                  | 106,19  | +6,2  | 101,80  | +1,8 |
| 32          | L=7,7; B=6,2; H=4,5; P=21,7    | 36,1                                    | 37,5   | +3,9  | 35,9   | -0,6 | 103,0                                  | 112,48  | +9,2  | 107,67  | +4,5 |
| 33          | L=7,63; B=4,4; H=3,8; P=20,8   | 29,6                                    | 26,4   | -10,9 | 32,4   | +9,3 | 82,0                                   | 66,80   | -18,5 | 81,95   | -0,1 |
| 36          | L=7,4; B=5,6; H=4,3; P=21,2    | 35,8                                    | 32,5   | -9,1  | 34,5   | -3,5 | 99,0                                   | 93,30   | -5,7  | 99,01   | +0,1 |
| 37          | L=6,5; B=4,7; H=3,9; P=17,5    | 22,9                                    | 24,0   | +4,8  | 22,7   | -0,8 | 59,0                                   | 62,38   | +5,7  | 59,04   | -0,1 |
| 46          | L=8,4; B=6,4; H=5,6; P=23,1    | 42,1                                    | 42,2   | +0,3  | 40,1   | -4,7 | 147,0                                  | 157,63  | +7,2  | 149,76  | +1,9 |
| 47          | L=7,5; B=7,1; H=5,4; P=23,0    | 43,8                                    | 41,8   | -4,5  | 41,8   | -4,6 | 147,0                                  | 150,56  | +2,4  | 150,37  | +2,3 |
| 50          | L=7,7; B=7,3; H=5,2; P=23,1    | 40,2                                    | 44,1   | +9,8  | 41,8   | +4,0 | 144,0                                  | 153,04  | +6,3  | 144,93  | +0,6 |
| 51          | L=10,5; B=7,1; H=5,6; P=28,1   | 60,1                                    | 58,5   | -2,6  | 58,3   | -3,0 | 214,0                                  | 218,59  | +2,1  | 217,65  | +1,7 |
| 53          | L=9,4; B=7,5; H=6,5; P=27,5    | 60,8                                    | 55,4   | -9,0  | 58,7   | -3,5 | 277,0                                  | 239,94  | -13,4 | 254,20  | -8,2 |



|                         |                                  |       |       |      |       |      |       |        |      |        |      |
|-------------------------|----------------------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|--------|------|--------|------|
| 54                      | L=9,6; B=8,8;<br>H=6,2; P=29,1   | 72,1  | 66,4  | -8,0 | 66,6  | -7,6 | 270,0 | 274,25 | +1,6 | 275,26 | +1,9 |
| 55                      | L=10,5; B=6,6;<br>H=6,0; P=26,8  | 54,0  | 54,4  | +0,8 | 50,9  | -5,7 | 219,0 | 217,71 | -0,6 | 203,71 | -7,0 |
| 56                      | L=11,2; B=7,2;<br>H=5,0; P=28,5  | 61,7  | 63,3  | +2,6 | 57,4  | -6,9 | 197,0 | 211,12 | +7,2 | 191,38 | -2,9 |
| 58                      | L=8,1; B=6,7;<br>H=7,1; P=22,7   | 42,3  | 42,6  | +0,8 | 39,2  | -7,4 | 184,0 | 201,75 | +9,6 | 185,35 | +0,7 |
| 61                      | L=11,4; B=8,7;<br>H=6,9; P=32,1  | 77,6  | 77,9  | +0,4 | 78,5  | +1,2 | 376,0 | 358,32 | -4,7 | 361,11 | -4,0 |
| 62                      | L=11,9; B=8,4;<br>H=5,6; P=32,4  | 84,2  | 78,5  | -6,8 | 78,4  | -6,9 | 308,0 | 293,10 | -4,8 | 292,79 | -4,9 |
| 63                      | L=11,7; B=7,8;<br>H=6,0; P=32,0  | 78,0  | 71,7  | -8,1 | 76,7  | -1,6 | 300,0 | 286,70 | -4,4 | 306,89 | +2,3 |
| 64                      | L=13,0; B=8,4;<br>H=7,3; P=34,4  | 85,3  | 85,8  | +0,5 | 86,6  | +1,6 | 422,0 | 417,39 | -1,1 | 421,63 | -0,1 |
| 65                      | L=16,3; B=8,9;<br>H=7,3; P=40,0  | 117,8 | 113,9 | -3,3 | 108,4 | -8,0 | 562,0 | 554,50 | -1,3 | 527,23 | -6,2 |
| 66                      | L=11,2; B=8,0;<br>H=5,9; P=30,6  | 71,8  | 70,4  | -2,0 | 70,1  | -2,3 | 289,0 | 276,79 | -4,2 | 275,76 | -4,6 |
| 67                      | L=16,0; B=13,7;<br>H=7,6; P=46,7 | 175,2 | 172,2 | -1,7 | 169,0 | -3,5 | 930,0 | 872,27 | -6,2 | 856,28 | -7,9 |
| 68                      | L=13,5; B=11,7;<br>H=8,5; P=40,3 | 135,2 | 124,0 | -8,2 | 127,0 | -6,1 | 763,0 | 702,97 | -7,9 | 719,70 | -5,7 |
| Осредненная погрешность |                                  |       |       | -2,7 |       | -2,9 |       |        | -0,4 |        | -0,8 |

Таблица 2

**Сравнение опытных значений площадей и объемов округло-усеченных тел с результатами формул (1), (5)-(7)**

| №№ образцов             | Параметры камней, см             | Значения площадей S, см <sup>2</sup> |        |      |        |      | Значения объемов V, см <sup>3</sup> |        |      |        |      |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------|------|--------|------|-------------------------------------|--------|------|--------|------|
|                         |                                  | опытные                              | по (6) | %    | по (7) | %    | опытные                             | по (2) | %    | по (5) | %    |
| 69                      | L=15,2; B=13,2;<br>H=6,0; P=45,0 | 158,6                                | 157,6  | -0,6 | 157,8  | -0,5 | 635,0                               | 630,3  | -0,7 | 631,4  | -0,6 |
| 70                      | L=12,2; B=7,86;<br>H=3,8; P=32,0 | 75,3                                 | 75,3   | 0    | 74,4   | -1,1 | 197,0                               | 190,8  | -3,2 | 188,6  | -4,2 |
| 71                      | L=7,16; B=5,9;<br>H=2,4; P=20,4  | 33,1                                 | 33,2   | +0,2 | 31,9   | -3,6 | 49,5                                | 53,08  | +7,2 | 51,0   | +3,1 |
| 72                      | L=6,44; B=6,2;<br>H=5,9; P=20,0  | 31,0                                 | 31,4   | +1,2 | 31,7   | +2,3 | 130,0                               | 123,3  | -5,1 | 124,8  | -4,0 |
| Осредненная погрешность |                                  |                                      |        | +0,2 |        | -0,7 |                                     |        | -0,4 |        | -1,4 |

**Результаты и обсуждение.** Как следует из таблиц 1, 2, величины объемов и площадей округлых и округло-усеченных тел, подсчитанные на основе формул (1), (5)-(7), при различных исходных линейных размерах дают достаточно приемлемые результаты для практических расчетов. При этом более точные значения для объемов указанных тел (с осредненной погрешностью до 2-3%) дает формула (5), рекомендуемая для инженерной практики.

Предлагаемые расчетные зависимости могут быть использованы также при гидрологических, геоморфологических и гидро-

технических расчетах для определения объемов и площадей озер, водохранилищ, зон затоплений селевых потоков, карьеров, холмов, курганов и других выемок и насыпей на поверхности Земли.

Имея геометрические объемно-площадные характеристики различных валунов и камней округлой и округло-усеченной формы, можно определять их массу  $m$  по формуле:

$$m = \rho V, \quad (9)$$

где  $\rho$  – плотность рассматриваемого тела, кг/м<sup>3</sup>, предварительное значение которой для различных тел и горных пород можно принять по таблице 3.



Плотность различных тел и горных пород

| Горные породы и тела                 | Габбро    | Гранит | Мрамор | Базальт   | Кварц | Вулканический туф | Бетон | Лед |
|--------------------------------------|-----------|--------|--------|-----------|-------|-------------------|-------|-----|
| Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | 2750-3100 | 2700   | 2700   | 2220-2850 | 2650  | 2650              | 2300  | 900 |

Вес (сила тяжести) рассматриваемых тел  $G$  определяется по формуле:

$$G = mg, \quad (10)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести на Земле, значение которого с учетом географического (широтного) местонахождения тела  $\varphi$  и высоты  $\nabla$  (м) над уровнем моря следует принять равным нормальному ускорению свободного падения  $\gamma$ , равному [5]

$$g = \gamma = 9,7803 \cdot (1 + 0,0053024 \cdot \sin^2 \varphi - 0,0000059 \cdot \sin^2 2\varphi) - 3,09 \cdot \nabla \cdot 10^{-6}, \text{ м/с}^2, \quad (11)$$

где  $\varphi$  – угол географической широты.

Для приближенных расчетов значение ускорения свободного падения на Земле  $g$  принимается равным  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

### Выводы

При обследовании различных природных округлых и округло-усеченных объектов (камней, валунов, озер, холмов, различных выемок и насыпей) во многих случаях возникает необходимость определения их объемно-площадных характеристик, в том числе в оперативных условиях при возникновении чрезвычайных ситуаций. На основе теоретического анализа и обработки данных экспериментов с 32 округлыми и округло-усеченными камнями получены аналитические зависимости для определения объемно-площадных характеристик различных округлых тел произвольной формы по их внешним размерам. Для частных случаев геометрически правильных тел: эллипсоида, шара, полушара и др. – предложенные зависимости совпадают с известными точными формулами. Расчетные формулы могут быть использованы при оперативных гидрологических, геоморфологических и гидротехнических расчетах естественных и искусственных водных объектов, а также для нахождения объемов, площадей, периметра и других характеристик округлых и округло-усеченных тел и емкостей произвольной формы, в том числе расположенных в труднодоступных местах.

### Библиографический список

1. Хуан Ж.Ц., Ли В.Л. Анализ опасных геологических процессов, вызванных Вэнь-

чуанским землетрясением 12 мая 2008 года в Китае // Геориск. 2010. № 1. С. 14-23.

2. Бронштейн Н.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике: Пер. с нем. М.: «Наука», 1980. 975 с.

3. Анахаев К.Н. О методах расчета потенциальных (фильтрационных) потоков на основе эллиптических интегралов // Гидротехническое строительство. 2008. № 8. С. 7-9.

4. Анахаев К.Н. Эллиптические интегралы в инженерных задачах // Строительство и архитектура. 2014. Т. 2. Вып. 1(2). С. 58-63.

5. Цубой Т. Гравитационное поле Земли: Пер. с япон. М.: «Мир», 1982. 286 с.

Материал поступил в редакцию 11.09.2016 г.

### Сведения об авторах

**Анахаев Кошкинбай Назирович**, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по селевой проблематике, эксперт РАН, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт» Росгидромета; 360030, Россия, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 2; тел.: 8-928-693-13-84; anaha13@mail.ru.

**Акшайков Заур Тахирович**, младший научный сотрудник ФГБУ «Высокогорный геофизический институт» Росгидромета; 360030, Россия, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 2.

**Анахаев Хасан Аубекирович**, младший научный сотрудник ФГБУ «Высокогорный геофизический институт» Росгидромета; 360030, Россия, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 2, тел.: 8(8662) 40-21-01; aha.1986@yandex.ru,

**K.N. ANAKHAEV, Z.T. AKSHAYAKOV, KH.A. ANAKHAEV**

Federal state budgetary institution «High mountain geophysical institute», Roshydromet (FSBI «VGI»)  
Nalchik, Kabardino-Balkaria, Russian Federation

## DETERMINATION OF VOLUME AND AREAL CHARACTERISTICS OF ROUNDED BODIES OF A FREE FORM

*At inspections of various natural objects in many cases there is a need of the urgent assessment of volume and areal characteristics of blockages, separate rocky fragments, blocks, and also volumes of the accumulated breakthrough dangerous reservoirs, etc., in particular, in operational conditions of the emergency situation beginning. Similar questions arise also at the determination of areas and volumes of natural rounded and rounded-truncated bodies (stones, boulders, lakes, hills, various ditches and fills) located in hard-to-reach spots. Under such circumstances for taking urgent protective measures the exactly simplified rated dependences of determination of their volume and space characteristics are mostly needed. On the basis of the theoretical analysis and data processing of experiments with 32 rounded and rounded-truncated stones there are obtained analytical dependences for definition of volume and areal characteristics of various roundish bodies of a free form according to the values of their external sizes. For special cases of geometrically regular bodies: an ellipsoid, a sphere, a semi-sphere, etc. the offered dependences coincide with the known exact formulas. The proposed calculated dependences can be used at operative hydrological, geomorphologic and hydro technical calculations of natural and artificial water objects, and also for finding volumes, spaces, perimeter and other characteristics of rounded and rounded-truncated bodies and capacities of a free form including those located in hard-to-reach places.*

*Rounded body, rounded-truncated body, boulder, lake, hill, ditches, body volume, surface area, perimeter of a circular body.*

### References

The material was received at the editorial office  
11.09.2016

1. Khuan Zh. Ts., Lee V.L. Analiz opasnyh geologicheskikh protsessov, vyzvannyh Vanjchuanskim zemletryaseniem 12 maya 200 goda v Kitae // Georisk. 2010. № 1. S. 14-23.

2. Bronshtein N.N., Semendyaev K.A. Spravochnik po matematike: Per. S nem. M.: «Nauka», 1980. 975 s.

3. Anakhaev K.N. O metodax rascheta potentsialnyh (filjtratsionnyh) potokov na osnove ellipticheskikh integralov // Hydrotehnicheskoe stroiteljstvo. 2008. № 8. S. 7-9.

4. Anakhaev K.N. Ellipticheskie integraly v inzhenernyh zadachah // Stroiteljstvo i arhitektura. 2014. T. 2. Vyp. 1(2). S. 58-63.

5. Tsuboj T. Gravitatsionnoe pole Zemli: Per. s yapon. M.: «Mir», 1982. 286 s.

### Information about the authors

**Anakhaev Koshkinbai Nazirovic**, doctor of technical sciences, professor, FGBI «High mountain geophysical institute», deputy director on mud flow problems, 360030, Russia, KBR, Nalchik, pr. Lenina, 2; tel.: 8-928-693-13-84; anaha13@mail.ru.

**Akshayakov Zaur Tahirovic**, junior researcher FGBI «High mountain Geophysical Institute», 360030, Russia, KBR, Nalchik, pr. Lenina, 2; tel.: 8(8662) 40-21-01; akzaur@yandex.ru.

**Anakhaev Hasan Aubekirovic**, junior researcher FGBI «Mountain Geophysical Institute», 360030, 360030, Russia, KBR, Nalchik, pr. Lenina, 2; tel.: 8(8662) 40-21-01, axa.1986@yandex.ru.

УДК 502/504:550.832.44: 624.12: 624.19: 69.035.4

**С.К. ДАВЛАТШОЕВ, ДЖ.А. НАЗИРОВ**

Проектно-изыскательный институт «Таджикэнергопроект», г. Душанбе, Республика Таджикистан

**Д.В. КОЗЛОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

## ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В КРУПНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ

*Возведение энергетических объектов в сложных инженерно-геологических и сейсмических условиях, а также то, что гидротехнические подземные сооружения значительно отличаются от подземных сооружений другого назначения конструкцией, режимом работы, условиями возведения и эксплуатации, делают чрезвычайно актуальной задачу организации систематического контроля и прогнозирования состояния подземных сооружений в целях обеспечения их безопасной и надежной эксплуатации. Решение этой задачи требует создания системы геодинамического мониторинга: ускоренного развития методов и техники натурных наблюдений за работой подземных сооружений в процессе их строительства и эксплуатации, за фактическими нагрузками, действующими на них. Подземные сооружения представляют собой весьма сложные и ответственные объекты, безопасность и эффективность функционирования которых должна обеспечиваться в ходе строительства и в течение длительного периода эксплуатации. На основании многолетних исследований подземных сооружений Рогунской ГЭС комплексом геофизических, геотехнических, геодезических методов и дистанционной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) разработана структура организации системы геодинамического мониторинга состояния геологической среды, включающей в себя сооружения подземного комплекса во время строительства и в эксплуатационный период. Также разработаны основные принципы организации геодинамического мониторинга состояния массивов и основных сооружений подземного комплекса, базирующиеся в первую очередь на системных принципах, поскольку указанные сооружения образуют специфические техноприродные системы «Сооружение-массив».*

*В состав системы мониторинга включены подсистема реагирования надкритических параметров, принятие управленческих решений, разработка превентивных мероприятий и контроль эффективности реализации превентивных мероприятий. Подсистема позволит, в частности, более оперативно и точно выявлять участки сооружений с пониженной надежностью и оценить эффективность тех или иных укрепительных мероприятий. В подземных сооружениях наблюдения давно ведутся по комплексной программе натурных наблюдений, которая успешно вписывается в разработанную систему геодинамического мониторинга.*

*Подземные сооружения, геологическая среда, геодинамический мониторинг, сейсмический каротаж, ультразвуковой каротаж, сейсмическая томография, геодезический метод, геотехнический метод, геофизический метод.*

**Введение.** Рогунский гидроузел на реке Вахш расположен в районе со сложными геологическими и сейсмическими условиями, характеризующимися наличием крупных тектонических нарушений, по части из которых происходят интенсивные современные подвижки. Крупные тектонические нарушения: Гулизинданский и Вахшский глубинные разломы – проходят в непосредственной близости от сооружений гидроузла, а Ионахшский разлом пересекает основание плотины. Указанные разломы сопровождаются системами опережающих трещин различных порядков, наиболее

крупные из которых существенно влияют на устойчивость склонов долины реки Вахш.

На основе анализа инженерно-геологической ситуации подземного здания ГЭС выявлены следующие ее характерные особенности.

1. Наличие двух крупных нарушений:

- разлом IV порядка № 70 (азимут – 345 град., угол падения – 65 град.), выполненный обломками песчаника, сцементированными глиной трения (шов шириной 3-5 см) с мощной зоной влияния, крупно падающий (65 град.) в сторону полости машинного зала (МЗ), потенциально вывалоопасного;

- разлом IV порядка № 273 (азимут простирания – 310 град., угол падения – 35 град.), выполненный брекчией трения шириной 20 мм до 1,2 м, пересекающий ось машинного зала под углом, близким к 45 град.

2. Наличие литологических разностей пород: более прочных песчаников и менее прочных алевролитов. Коренные породы на участке здания ГЭС представлены толщей переслаивающихся песчаников и алевролитов нижнемелового возраста, слои которых наклонены в сторону нижнего бьефа под углом 65-75 град. Песчаники и алевролиты являются крепкими скальными грунтами: величина их сопротивления одноосному сжатию в образце равна, соответственно, 100-120 МПа и 60-80 МПа.

3. Наличие высоких сжимающих напряжений, имеющих тектоническую природу. Выполненные измерения позволили оценить вертикальную и горизонтальную компоненты напряжений, которые составили, соответственно, 12 МПа, 17 МПа и более. Эти значения напряжений приняты при проектировании подземных конструкций как постоянные величины. Прогнозировалось, что при создании в таком массиве крупной выемки в нем будут происходить интенсивные процессы разгрузки, ослабление пород в приконтурной зоне вследствие разуплотнения, деформации стен, нарастание давления на крепь и формирование зон неустойчивых пород.

Учитывая реальные инженерно-геологические особенности выбранного створа, проектировщики расположили подземное здание станции Рогунской ГЭС в верхнем бьефе на глубине 420 м под поверхностью земли в едином тектоническом блоке, ограниченном активными разломами № 1 (Ио-нахшский) и № 35. Наличие этих разломов обусловило единственно возможную ориентацию в плане данного сооружения и его размеры, которые составляют: ширину – 20,8 м, длину – 200 м, высоту – 67 м.

Возведение энергетических объектов в сложных инженерно-геологических и сейсмических условиях, а также то обстоятельство, что гидротехнические подземные сооружения значительно отличаются от подземных сооружений другого назначения конструкцией, режимом работы, условиями возведения и эксплуатации, делают чрезвычайно актуальной задачу организации систематического контроля и прогнозирования состояния подземных соору-

жений в целях обеспечения их безопасной и надежной эксплуатации. Решение этой задачи требует, в том числе, создания системы геодинамического мониторинга. Это специализированный вид мониторинга, который включает в себя систему регулярных наблюдений и контроля за развитием опасных геодинамических процессов и явлений в техноприродной системе (в нашем случае – сооружения подземного комплекса), за факторами, обуславливающими их формирование и развитие. Геомониторинговые мероприятия проводятся по определённой программе и выполняются с целью своевременной диагностики опасных для сооружения геодинамических явлений, разработки и проведения мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций, связанных с опасными геодинамическими процессами и явлениями, или по снижению наносимого их воздействием ущерба.

**Результаты исследований.** Основные принципы организации геодинамического мониторинга состояния массивов и основных сооружений подземного комплекса должны базироваться в первую очередь на системных принципах, поскольку указанные сооружения образуют специфические техноприродные системы «Сооружение-массив».

Специфика этих систем заключается в особой ответственности с точки зрения обеспечения безаварийной работы сооружений в течение всего длительного срока их эксплуатации. При рассмотрении вопросов организации геодинамического мониторинга сооружений в сложных инженерно-геологических и тектонических условиях приходится дополнительно повышать степень надежности разрабатываемых мер для предотвращения возможных аварий. При этом система геодинамического мониторинга в общем случае должна состоять из следующих этапов [1]:

- создание геомеханических моделей контролируемых горнотехнических систем и сооружений включая оценку геодинамического риска;
- выбор, обоснование и оценка возможных значений приоритетных контролируемых параметров;
- оборудование наблюдательных пунктов;
- выполнение измерений контролируемых параметров в натуральных условиях;
- формирование баз данных натуральных наблюдений, а также расчетных параметров и критериев оценки;



- первичная обработка и логическое структурирование данных;
- верификация геомеханических моделей путем сопоставления измеренных контролируемых параметров и соответствующих расчетных значений;
- установление нормативных или полученных путем численного моделирования прогнозно-критических параметров, соответствующих виртуальной катастрофической ситуации;
- сопоставление измеренных значений с нормативными и расчетными прогнозно-критическими значениями;
- оценка текущего и прогноз дальнейшего состояния контролируемых объектов;
- принятие управленческих решений и разработка превентивных мероприятий;

- контроль эффективности реализации превентивных мероприятий.

Общая структура геодинамического мониторинга подземных объектов представлена на рисунке 1.

Как следует из общей структуры и принципов организации геодинамического мониторинга, натурные (полевые) измерения и наблюдения составляют весьма существенную часть общих работ. При этом, если учитывать современные представления о массиве горных пород как о среде иерархично-блочного строения, основной информацией, которая должна быть получена в первую очередь в ходе натурных наблюдений, является наличие зон разуплотнения, перемещения и деформации вмещающего массива.

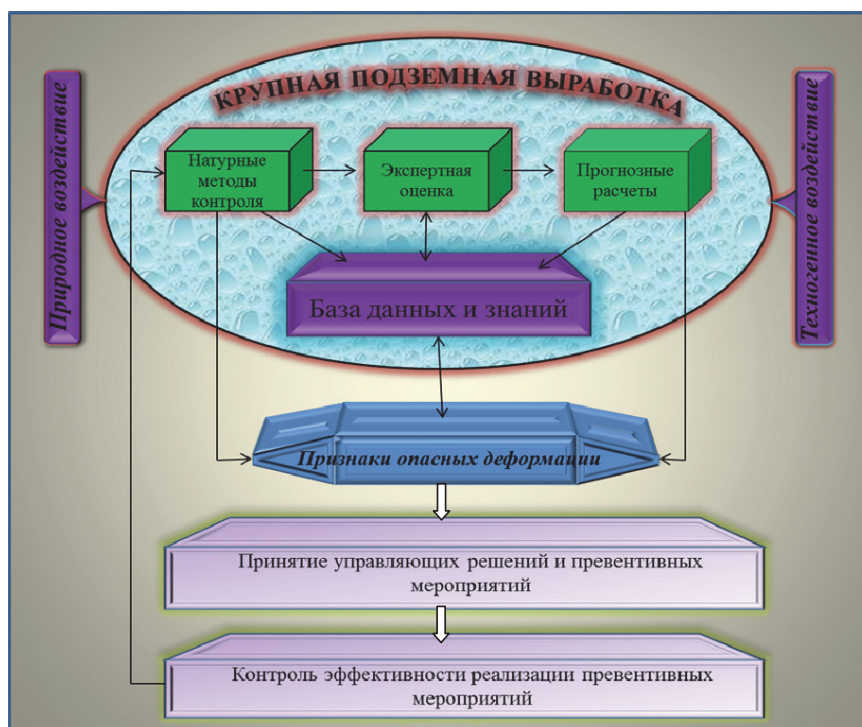


Рис. 1. Общая структура геодинамического мониторинга

Для получения этой информации могут быть использованы различные геофизические методы и дистанционная контрольно-измерительная аппаратура (КИА), позволяющие оценить степень изменения физических параметров во внутренних частях массивов горных пород в условиях естественного залегания под воздействием естественных и техногенных факторов, а также определить предельные уровни деформаций и найти индикаторы критического состояния геологической среды на проблемных участках.

Основными методами геофизического мониторинга являются сейсмопрофи-

лирование по лотку и стенам выработки, сейсмокаротаж и ультразвуковой каротаж скважин, сейсмическая томография целиков между выработками и скважинами, ультразвуковое обследование бетона и образцов, а также акустико-эмиссионные исследования по поверхности бетонной крепи или обделки, а также во внутренних частях массива с использованием скважин [2].

Натурные наблюдения в подземном машинном зале Рогунской ГЭС носят комплексный характер, анализ их базируется на максимально полной и достоверной информации. В связи с этим размещение



контрольно-измерительной аппаратуры, ее количество и номенклатура обеспечивают измерение всех параметров состояния сооружения (нагрузки, напряжения, деформации, температур и проч.) на всем его протяжении.

По комплексной программе натурных наблюдений в подземном машинном зале Рогунской ГЭС был определен следующий состав наблюдений [3]:

- исследование напряженно-деформированного состояния обделок (геофизическими методами);
- исследование естественного напряженного состояния вмещающего массива (геофизическими и геотехническими методами);
- определение размеров ослабленных и неустойчивых зон вокруг машзала (геофизическими методами);

- измерения перемещения контуров выработок (конвергенция) и деформации окружающего массива (геодезическими методами и с помощью дистанционной КИА производства «Geokon»);

- измерение усилий в глубоких ПНА (с помощью дистанционной КИА производства «Geokon»);

- измерение нагрузок (горное давление и давление грунтовых вод) на обделки (с помощью дистанционной КИА производства «Geokon»);

- наблюдения за температурным режимом обделки и породы (с помощью дистанционной КИА производства «Geokon»).

В настоящее время дистанционная КИА в машинном зале и трансформаторном помещении Рогунской ГЭС установлена на 90% (табл.).

Таблица

Сравнения крупных подземных выработок по оснащенности КИА

| Объект и сооружение                                                | Размеры выработок, м |        |       | Глубина заложения, м | Геологические особенности вмещающего массива                                                 | Измеряемые параметры                                                                                                                          | Виды и количество КИА                                        |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------|--------|-------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                                                                    | Пролет               | Высота | Длина |                      |                                                                                              |                                                                                                                                               |                                                              |
| ГАЭС Ронковаль-гранде (Италия), машинный зал                       | 21                   | 60     | 300   | 245                  | Мелкозернистые гнейсы: наличие зоны сильно-нарушенных пород над машзалом                     | Деформации массива и выработки, усилия в анкерах                                                                                              | 10 створов экстензометров, всего около 800 шт.               |
| ГЭС Имаичи (Япония), Здание ГЭС                                    | 33,5                 | 51     | 160   | 400                  | Песчаники, сланцы, брекчии: наличие ослабленных зон                                          | Смещения в массиве пород, конвергенция контура, усилия в анкерах, давление фильтрационных вод, напряжения и раскрытие трещин в скале и бетоне | Дистанционная КИА, всего 800 шт.                             |
| Рогунская ГЭС (Республика Таджикистан), машинный зал               | 21                   | 68     | 220   | 420                  | Песчаники и алевролиты средне- и сильнотрепчатые; высокие сжимающие тектонические напряжения | Деформации массива, перемещения контура. Напряжения в арматуре, усилия в анкерах, давление фильтрационных вод, температура бетона и грунта    | Дистанционная КИА. 13 створов экстензометров, всего 1235 шт. |
| Рогунская ГЭС (Республика Таджикистан), трансформаторное помещение | 19                   | 43     | 209   | 420                  | Песчаники и алевролиты средне- и сильнотрепчатые; высокие сжимающие тектонические напряжения | Деформации массива, перемещения контура. Напряжения в арматуре, усилия в анкерах, давление фильтрационных вод, температура бетона и грунта    | Дистанционная КИА. 5 створов экстензометров, всего 466 шт.   |

### Выводы

1. В предложенной системе геодинамического мониторинга определен максимально возможный спектр натурных наблюдений за основными сооружениями Рогунской ГЭС, который носит комплексный характер; анализ

их состояния должен базироваться на максимально полной и достоверной информации.

2. В настоящее время на Рогунском гидроузле ведутся наблюдения за состоянием следующих основных подземных сооружений: машинный зал, трансформаторное по-

мещение, монтажная камера, галереи токопроводов, турбинные водоводы, коллекторы агрегатов, строительные туннели и камеры затворов.

3. Актуальным является вопрос разработки и обоснования критериев безопасной работы подземных сооружений Рогунской ГЭС, которые должны использоваться при анализе результатов наблюдений и исследований.

#### Библиографический список

1. Козырев А.А., Калашник А.И., Каспарян Э.В., Савченко С.Н. Концепция организации геодинамического мониторинга нефтегазовых объектов западного сектора российской Арктики // Вестник МГТУ. 2011. Т. 14. № 3. С. 587-600.
2. Комплексные инженерно-геофизические исследования при строительстве гидротехнических сооружений / Под ред. А.И. Савича, Б.П. Куюнджича. М.: Недра, 1990. 463 с.
3. Котенков Ю.К., Федулов А.К. Современное состояние и задачи натурных исследований

подземных гидротехнических сооружений // Энергетическое строительство. 1990. № 1. С. 41-43.

Материал поступил в редакцию 03.03.2017 г.

#### Сведения об авторах

**Давлатшоев Саломат Каноатшоевич**, главный инженер проектно-изыскательского института «Таджикэнергопроект», 734061, Республика Таджикистан, г. Душанбе, Айни, 29; email: davlatshoev\_s@mail.ru; тел.: +7 (992) 98-999-19-24.

**Назирова Джамшед Абдулвохидович**, директор проектно-изыскательского института «Таджикэнергопроект», 734061, Республика Таджикистан, г. Душанбе, Айни, 29; email: nazirov-69@mail.ru; тел.: +7 (992) 989990044.

**Козлов Дмитрий Вячеславович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: +7 (499) 976-21-56; e-mail: kozlovdv@mail.ru.

**S.K. DAVLATSHOEV, D.J.A. NAZIROV**

Design-survey institute «Tajikenergoproject», Dushanbe, Republic of Tajikistan

**D.V. KOZLOV**

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

## ORGANIZATION OF GEODYNAMIC MONITORING IN LARGE UNDERGROUND WORKINGS

*Taking into account the fact that construction of energy facilities on site is under complicated engineering – geological and seismic conditions as well as the fact that hydraulic engineering underground constructions are significantly different from underground structures of another purpose, they differ by operating mode, construction and operation conditions, all of this makes the task of organization systematic monitoring and forecasting the status of underground constructions the most interesting and makes it also extremely important for the safe and reliable operation. The solution of this problem requires creation of the geodynamic monitoring over: accelerated devolvement of methods and techniques of local observations of the underground structures during their construction and operation process and actual loads acting on them. Underground constructions are very complicated and important facilities, their safety and efficiency should be provided during construction and long period of operations. Based on the long-term research of the Rogun HPP underground constructions by a complex of geophysical, geotechnical and geodesic methods and remote instrumentation a geodynamic monitoring system has been developed for the geological environment state containing the constructions of the underground complex during the construction and operational period. Furthermore, basic organization principles of the geodynamical monitoring of the rock condition and main facilities of the underground complex have been developed based first of all on the systematic principles since the specified facilities form specific techno-natural systems «Construction – rock mass». The monitoring system includes a response sub-system for above-critical parameters, making managerial decisions, development of preventive measures and effectiveness control of implementing these activities. The subsystem will allow, in particular, more efficiently and accurately identify parts of constructions with a lowered reliability and assess the effectiveness of particular reinforcement measures. In the underground constructions observations has been carried out for a long time by a complex program of field observations which successfully fits into the developed system of geodynamic monitoring.*

*Underground structures, geological environment, geodynamic monitoring, seismic logging, ultrasonic logging, seismic tomography, geodesic method, geotechnical method, geophysical method.*

### References

1. Kozyrev A.A., Kalashnik A.I., Kasparyan E.V., Savchenko S.N. Kontseptsiya organizatsii geodinamicheskogo monitoring neftegazovykh objektov zapadnogo sektora rossijskoj Arktiki // Vestnik MGTU. 2011. T. 14. № 3. S. 587-600.
2. Complexnye inzhenerno-geofizicheskie issledovaniya pri stroitelystve hydrotehnicheskikh sooruzhenij / Pod red. A.I. Savicha, B.P. Kuyundjicha. M.: Nedra, 1990. 463 s.
3. Kotenkov Yu.K., Fedulov A.K. Sovremennoe sostoyanie i zadachi naturnykh issledovaniy podzemnykh hydrotehnicheskikh sooruzhenij // Energeticheskoe stroitelstvo. 1990. № 1. S. 41-43.

The material was received at the editorial office  
03.03.2017

### Information about authors:

**Davlatshoev Salomat Kanoatshoevich**, chief engineer of design – survey institute “Tajik energy project”; 734061, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini 29; Email: davlatshoev\_s@mail.ru; tel. +7 (992) 989 991 924.

**Nazirov Jamshed Abdulvokhidovich**, Head of Design – survey institute “Tajik energy project”; 734061, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Aini 29; Email: nazirov-69@mail.ru; tel. +7 (992) 989 990 044.

**Kozlov Dmitriy Vyacheslavovich**, Doctor of sciences, professor, RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev. +7 (499) 976-21-56; e-mail: kozlovdv@mail.ru.

УДК 502/504:532.5:551.482.215

### В.А. ФАРТУКОВ

Закрытое акционерное общество ЗАО «Бюро сервиса и эксплуатации» BSM, г. Москва, Российская Федерация

### М.В. ЗЕМЛЯНИКОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СБОРА И АНАЛИЗА ДАННЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРАВЛИКИ ГТС

*Целью исследования являлась разработка пользовательского интерфейса для управления трехкоординатным позиционером при проведении исследований гидравлики водного потока гидротехнических сооружений. В работе представлена программа, являющаяся надстройкой над специальной программой управления трехкоординатным позиционером. Позиционер предназначен для проведения исследований гидравлических режимов работы гидротехнических сооружений (ГТС). Необходимость в разработке такой системы определяется автоматизацией выполнения лабораторных исследований гидравлики ГТС, составления плана проведения измерений параметров водного потока, обработкой и предварительным анализом полученных результатов. В состав системы входят дополнительные модули, которые осуществляют обработку результатов измерений. Эти модули представлены виртуальными измерительными приборами в виде компьютерных программ, входящих в состав программы управления позиционером. Управление трехкоординатным позиционером осуществляется специальной программой, работающей на G-кодах. Управление позиционером на основе G-кодов неудобно и неэффективно. Поэтому наличие такой подпрограммы, которая позволит исследователю проводить лабораторные исследования в привычной ему среде, крайне желательно. В результате исследования имеет универсальную роботизированную измерительную установку, которой максимально просто и удобно управлять.*

*Трехкоординатный позиционер, лабораторные исследования гидравлики, подсистема ИТ-технологий управления, сбор и обработка данных с датчиков.*

**Введение.** При решении различных исследовательских задач, связанных с определением гидродинамических на-

грузок на элементы конструкций гидротехнических сооружений и на все сооружение в целом, необходимо проводить большое

количество измерений гидравлических параметров водного потока (скорость, давление, их пульсации и др.) с целью определения степени надежности и безопасности исследуемых объектов. Для решения поставленных исследователем задач необходимо одновременное применение большого количества приборов, которые должны в реальном масштабе времени производить измерения, сбор, обработку, хранение данных об изучаемом процессе в широком диапазоне начальных и граничных условий. Такой объем исследовательской работы является рутинным и требует много времени на выполнение намеченного плана исследований.

Рассматриваемый в статье комплекс предназначен для проведения исследований работы моделей конструкций гидротехнических сооружений, находящихся под воздействием гидродинамических нагрузок, в лабораторных условиях на гидравлическом лотке. Поэтому целью исследования является разработка пользовательского интерфейса для управления трехкоординатным позиционером, который позволит роботизировать процесс проведения исследований гидравлических режимов течения водного потока гидротехнических сооружений.

**Материал и методы.** Для решения поставленной задачи применена технология управления токарно-фрезерным станком, имеющим шесть степеней свободы управления. В основе управления работой шаговыми двигателями, которые осуществляют перемещение рабочего органа по трем координатам (X, Y, Z), находится специальное программное обеспечение [1, 3]. Оно было применено для управления специально разработанной и собранной конструкции трехкоординатного позиционера.

Для реализации поставленных задач используется метод адаптации специальных машинно-ориентированных пакетов прикладных программ, которые позволяют объединить функции управления трехкоординатным позиционером с функциями сбора и обработки сигналов, поступающих от измерительных приборов, в едином пользовательском интерфейсе.

**Результаты и обсуждения.** Комплекс состоит из трех основных подсистем:

- подсистема регистрации показаний датчиков, установленных на позиционере;

- трехкоординатный позиционер, позволяющий перемещать и устанавливать платформу с датчиками в любом месте исследуемого водного потока или конструкции сооружения;

- подсистема автоматизированного контроля и управления расходом воды в гидравлическом лотке.

Трехкоординатный (X, Y, Z) позиционер позволяет проводить исследования режимов течения жидкости, нагрузок на исследуемое сооружение, волновых процессов и других нагрузок по заранее подготовленному исследователем плану проведения эксперимента.

Позиционер осуществляет перемещение платформы, на которую устанавливается необходимый для проведения исследования набор датчиков. Управление позиционером и обработка сигналов, поступающих с датчиков, производятся с помощью специализированных программ, установленных на компьютере входящего в состав позиционера.

Для выполнения планов исследований необходимо применять специальные программы на G-коде (язык программирования), чтобы обеспечить перемещение платформы позиционера с датчиками в нужные точки потока и проведение измерений. Такое управление позиционером является крайне неудобным и неэффективным.

Для решения проблемы была поставлена задача разработки программы, которая являлась бы надстройкой над существующей специальной программой управления позиционером, что позволит роботизировать исследования гидравлических режимов работы моделей гидротехнических сооружений, установленных в гидравлических лотках. В результате исследователь получает возможность при составлении плана проведения исследований (измерений) подстраивать позиционер под геометрические размеры гидравлического лотка, в котором проводятся исследования, устанавливать координаты точек водного потока, в которые необходимо будет переместить платформу с датчиками, а также время нахождения в каждой из этих точек. На основе такого плана программа сгенерирует нужный G-код и создаст специальный файл-макрос.

При загрузке данного файла G-код распознает все необходимые для выполнения плана команды, которые передают-



ся драйверам шаговых двигателей позиционера на исполнение.

В интерфейсе разработанной программы предусмотрена возможность перехода к программному пакету (виртуальный измерительный прибор), который осуществляет измерение, регистрацию и анализ показаний датчиков с последующей обработкой результатов измерений.

Программа управления трехкоординатным позиционером создана на языке программирования C++ с применением кроссплатформенного инструментария Qt, необходимого для создания пользовательского интерфейса. Управление движением позиционера осуществляется при помощи программного пакета Mach3 (рис. 1).

В возможности Mach3 входят [1]:

- управление 6-координатами;
- импорт DXF, BMP, JPG, HP-GL-файлов и генерирование файлов УП G-кодов с помощью программы LazyCam, входящей в пакет;
- трехмерная графическая визуализация УП G-кодов;
- создание пользовательских M-кодов и макросов на основе VB-скриптов;
- управление частотой вращения двигателей;
- многоуровневое релейное регулирование;
- применение ручных генераторов импульсов (MPG);
- окно видеонаблюдения за ходом работы.

Регистрация измерений и показаний датчиков, их анализ производятся анализатором спектра компании «АКТАКОМ», в комплект которого входит специальное программное обеспечение (рис. 2), осуществляющее обработку результатов измерений [2].

Для разработки программы был выбран язык C++, поддерживающий такие парадигмы программирования, как процедурное программирование, объектно-ориентированное программирование, обобщенное программирование, модульность, раздельную компиляцию, обработку исключений, абстракцию данных, объявление типов (классов) объектов, виртуальные функции [3, 4].

Язык программирования C++ – один из самых известных и широко используемых языков программирования. Выбор именно C++ был обусловлен во многом тем, что

он является универсальным, имеет широкое распространение и обширную базу прикладных программ.

Для компиляции программы использовался Microsoft Visual C++ (MSVC), входящий в состав Microsoft Visual Studio 2013.

Управление перемещением позиционера осуществляется при помощи команд, записанных в виде так называемого G-кода. G-код – условное наименование языка программирования устройств с числовым программным управлением (ЧПУ) [3]. Он был создан компанией Electronic Industries Alliance в начале 1960-х гг., окончательная доработка была одобрена в феврале 1980 г. как стандарт RS274D. Комитет ISO утвердил G-код как стандарт ISO 6983-1:2009, Госкомитет по стандартам СССР утвердил его как ГОСТ 20999-83. Используется G-код в качестве базового подмножества языка программирования, который может быть расширен по своему усмотрению.

Программа, написанная с использованием G-кода, имеет «жесткое» строение. Все команды управления объединяются в кадры – группы, состоящие из одной или более команд.

Для осуществления вывода на экран трехмерной визуализации пути перемещения позиционера, его наглядного представления по трем координатным осям X, Y и Z в пределах исследуемого водного потока в гидравлическом лотке разработан программный интерфейс, использующий двумерную и трехмерную компьютерную графику.

Для реализации этой задачи и составления приложений был выбран язык программирования OpenGL (Open Graphics Library), определяющий платформенно-независимый программный интерфейс [5]. Языковая среда Qt позволяет работать с функциями OpenGL напрямую и использовать специфическую для Qt «надстройку» над OpenGL – Qt3D. Однако «надстройка» Qt3D – относительно новый компонент в Qt, и по сравнению с OpenGL он задокументирован хуже. Применение OpenGL позволило выйти за рамки Qt и перейти к применению программному языку Vulkan, который является продолжением OpenGL и обеспечивает более высокую производительность.

В первую версию программы не включена трехмерная визуализация переме-

щения позиционера. На начальном этапе создан прототип, при котором путь перемещения происходит на основе двухмерной

графики, а функциональность, связанная с осью Z (глубиной), реализована через всплывающие контекстные меню.

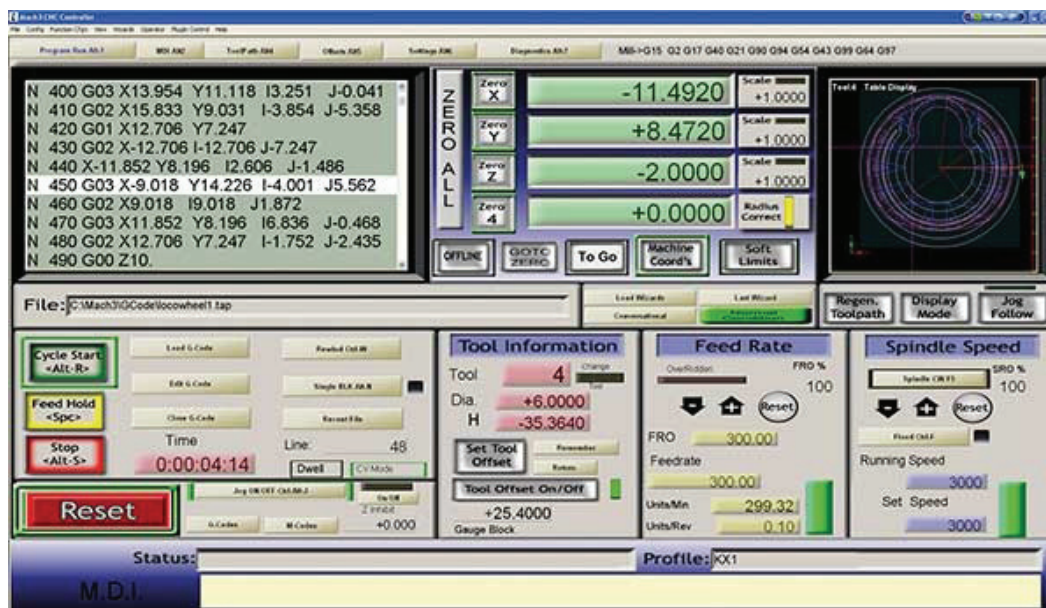


Рис. 1. Пользовательский интерфейс Mach3

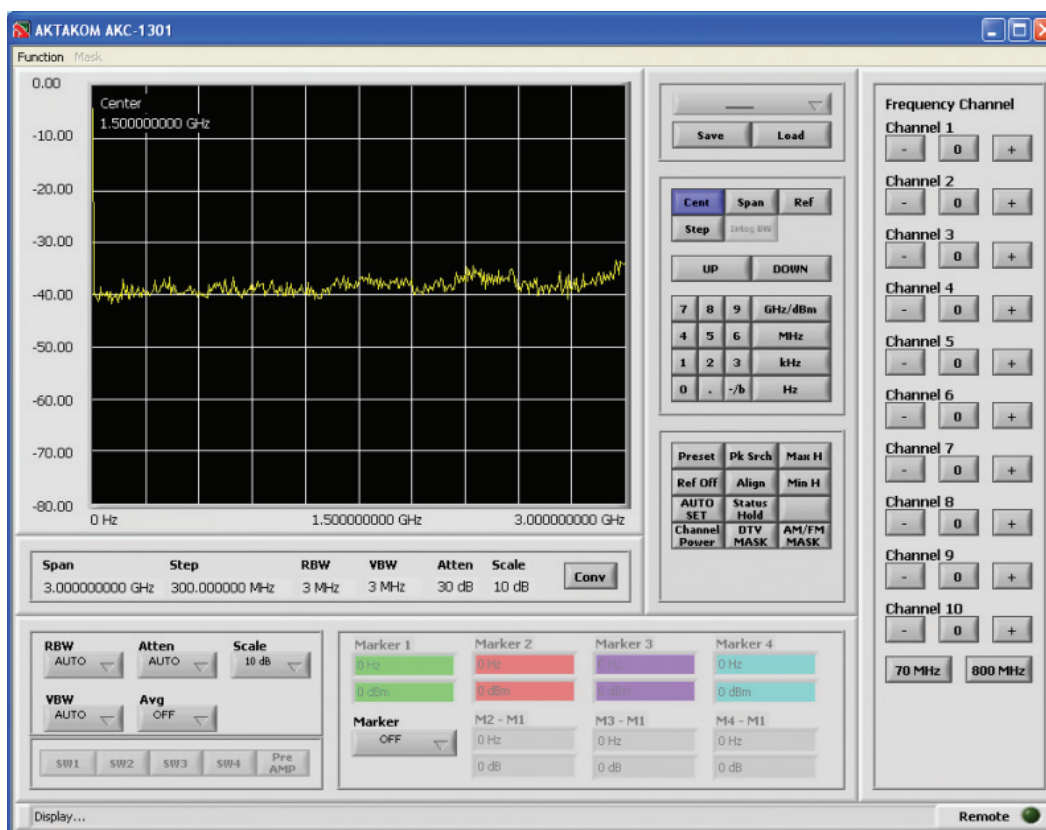


Рис. 2. Вид панели анализатора спектра «АКТАКОМ»

То, как выглядит главное окно в первом прототипе программы, изображено на рисунке 3.

На вкладке «Настройки» (рис. 4) вводятся геометрические размеры гидравлического лотка, шаг сетки с ключевыми точками;

вводится величина расхода воды в гидравлическом лотке. Введенная величина установленного расхода воды в лотке контролируется специальным модулем, входящим в состав универсального измерительного комплекса. На рисунке 4 представлен вид вкладки.



**Библиографический список**

1. Официальный веб-сайт компании Newfangled Solutions [Электронный ресурс] URL: <http://www.machsupport.com/>
2. Официальный веб-сайт компании АКТАКОМ [Электронный ресурс] URL: <http://www.aktakom.ru/>
3. Darxton [Электронный ресурс] URL: <http://www.darxton.ru/4>. Веб-сайт CppStudio [Электронный ресурс] URL: <http://cppstudio.com/>
5. Официальная документация Qt [Электронный ресурс] URL: <http://doc.qt.io/>

Материал поступил в редакцию 21.03.2017 г.

**V.A. FARTUKOV**

Close corporation «Bureau of service and operation», BSM, Moscow, Russian Federation

**M.V. ZEMLYANNIKOVA**

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian University-MAA named after K.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

**Сведения об авторах**

**Фартуков Василий Александрович**, кандидат технических наук, доцент, генеральный директор ЗАО «Бюро сервиса и эксплуатации» «BSM», 119330, г. Москва, ул. Мосфильмовская, д.176; тел.: 8(916) 653-17-59; e-mail: [vasfar@mail.ru](mailto:vasfar@mail.ru)

**Земляникова Марина Владимировна**, кандидат технических наук, профессор кафедры гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева», 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д.19; тел.: 8(910) 404-84-21; e-mail: [vasfar@mail.ru](mailto:vasfar@mail.ru)

## **CONTROL SYSTEM FOR DATA COLLECTION AND ANALYSIS OF LABORATORY RESEARCH OF HYDRAULICS HTS**

*The aim of the work is the development of a user interface for the control of a three-coordinate positioner when conducting hydraulics research of the water flow of hydraulic structures. In this paper we present a program that is an add-on for a special control program for a three-position positioner. This positioner is intended for research of hydraulic operating modes of hydraulic structures (HTS). The need for the development of such a system is determined by the automation of the performance of laboratory hydraulic studies of hydraulic structures, the development of a plan for measuring parameters of the water flow, processing and preliminary analysis of the obtained results. The system includes additional modules that process the results of measurements. These modules are represented by virtual measuring devices which are represented in the software form included in the program of positioner control. The three coordinate positioner is controlled by a special program running on G-codes. Controlling the positioner based on G-codes is inconvenient and inefficient. Therefore, the existence of such a subprogram which will allow the researcher to conduct laboratory research in his usual environment is highly desirable. As a result, the researcher has a universal robotic measuring unit which is as simple and convenient to operate as possible.*

*Three-coordinate positioner, laboratory research of hydraulics, subsystem IT management technologies, collection and processing of data from the sensor.*

**References**

1. Official website of Newfangled Solutions [Electronic resource] URL: <http://www.machsupport.com/>
2. The official website of ACTACOM [Electronic resource] URL: <http://www.aktakom.ru/>
3. Darxton [Electronic resource] URL: <http://www.darxton.ru/>
4. Website of CppStudio [Electronic resource] URL: <http://cppstudio.com/>
5. Official Qt documentation [Electronic resource] URL: <http://doc.qt.io/>

The material was received at the editorial office  
21.03.2017

**Information about the authors**

**Fartukov Vasilij Alexandrovich**, candidate of technical sciences, associate professor, general director of LLC «Bureau of service and operation», «BSM», 119330, Moscow, ul. Mosfilmovskaya, d. 176; tel.: 8(916) 653-17-59; e-mail: [vasfar@mail.ru](mailto:vasfar@mail.ru)

**Zemlyannikova Marina Vladimirovna**, Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian University – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow Ph.D., Professor 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, d.19; tel.: 8(910) 404-84-21; e-mail: [vasfar@mail.ru](mailto:vasfar@mail.ru)



УДК 502/504:532.5:631.61

**А.Е. КАСЬЯНОВ**

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

## СТРОИТЕЛЬСТВО ОСУШИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПРИ УГРОЗЕ ЗАОХРИВАНИЯ ДРЕН

*Технология строительства осушительной системы в условиях угрозы отложения окиси железа в дренах должна включать в себя внесение в почву мелкодисперсного порошка серного колчедана. На придренных участках в полость кротовин вносят в норме 40-60 г/м порошок серного колчедана. Средний размер частиц порошка серного колчедана принимают в пределах от 0.02 до 0.05 мм. Ширину придренных участков принимают в пределах 3.5-5 глубин заложения дрен от подошвы пахотного горизонта. Ширину уточняют по величине коэффициента равномерности скорости фильтрации на междренье. Коэффициент определяют методами гидромеханики фильтрационного потока на междренье и по предложенному графику. По сравнению с аналогом рекомендуемая технология строительства снижает на 24% интенсивность отложения окиси железа в дренах. Технология экологически безопасна.*

*Осушаемые земли, дренаж, кротование, порошок серного колчедана, снижение отложения окиси железа в дренах, метод гидромеханики, экология.*

**Введение.** Заохривание дренажа отмечается на 30% площади осушаемых земель с высоким содержанием закисного железа в почвенных и грунтовых водах. Железобактерии трансформируют растворимое закисное железо в нерастворимую окись железа, которая в виде охры забивает внутреннюю полость и отверстия трубчатых дрен, заиляет дренажные фильтры. Интенсивность заохривания снижают препараты, которые подавляют жизнедеятельность железобактерий и изменяют кислотность среды. Применяют соединения серы, меди, кальция, фенола и др. При строительстве осушительной системы препараты в виде гранулометрического материала размещают в области дренажного фильтра или траншейной засыпки. Охра откладывается в прифильтровой зоне или в нижней части траншейной засыпки, препятствует поступлению избыточной воды в дренаж и снижает интенсивность дренирования. Продукты взаимодействия препаратов с дренажной водой могут поступать в дренажный сток и загрязнять окружающую среду [1].

**Материалы и методы исследования.** Нами предложено вносить препараты для борьбы с заохриванием дренажа в подпахотные горизонты почвенного профиля при выполнении кротования. Кротовины нарезают и одновременно в их полость вносят мелкодисперсный порошок серного колчедана. На дренируемых землях выделяют придренные участки трубчатого дре-

нажа шириной от 3,5 до 5 глубин заложения дрен. На одном междренье выделяют придренные участки указанной ширины, примыкающие к соседним дренам. Далее осуществляют нарезку кротовин. При этом в момент нарезки кротовин в пределах выделенных придренных участков подают в полость кротовин мелкодисперсный порошок серного колчедана в норме от 40 до 60 г/м. Кротование и внесение серного колчедана целесообразно проводить непосредственно после укладки дренажа. Содержащиеся в серном колчедане соединения серы и меди подавляют жизнедеятельность железобактерий, снижая интенсивность отложения окиси железа в отверстиях дренажных труб и в дренажных фильтрах [2].

Ширину придренных участков, на которых вносится серный колчедан, определяют, исходя из параметров гидромеханики фильтрационного потока на междренье.

Рассматривается стационарная фильтрация в плоскости под действием точечных стоков обильностью  $q$ , которые расположены вблизи центров параллельных дренажной труб, заложённых на глубине  $t$  от подошвы пахотного слоя и на расстояниях  $l$  друг от друга. На подошве пахотного слоя имеется слой воды  $H$ . Обильность  $q$  равна дренажному расходу на единицу длины дрена. Проницаемость почвенного профиля равняется  $k$ . Ось абсцисс  $x$  совпадает с подошвой пахотного слоя, ось ординат  $y$  направлена вверх и совпадает с центром дрена. Ком-

плексный потенциал  $\omega(z)$  такого течения будет иметь вид [3]:

$$\omega(z) = \frac{q}{2\pi} \ln \frac{\sin(a(z-ti))}{\sin(a(z+ti))} + C,$$

где  $\omega(z) = \varphi + i\psi$ ,  $\varphi$  – функция потенциала скорости фильтрации,  $\psi$  – функция тока,  $i$  – мнимая единица,  $z = x + iy$ ,  $a = (\pi/l)$ ,  $C$  – постоянная.

Найдем комплексную скорость фильтрации  $v(z)$  на междренье, продифференцировав  $\omega(z)$  по  $z$ :

$$v(z) = \frac{q}{2l} (ctg(a(z-ti)) - ctg(a(z+ti))).$$

Выделив мнимую часть  $v(z)$ , найдем вертикальную составляющую скорости фильтрации  $v_y$ :

$$v_y = -\frac{q}{2l} \left( \frac{sh(a(y+t))}{ch(a(y+t)) - \cos(ax)} - \frac{sh(a(y-t))}{ch(a(y-t)) - \cos(ax)} \right).$$

Положив  $y = 0$ , найдем вертикальную составляющую скорости фильтрации на подошве пахотного слоя  $v_{y=0}$ :

$$v_{y=0} = -\frac{q}{l} \left( \frac{sh(at)}{ch(at) - \cos(ax)} \right).$$

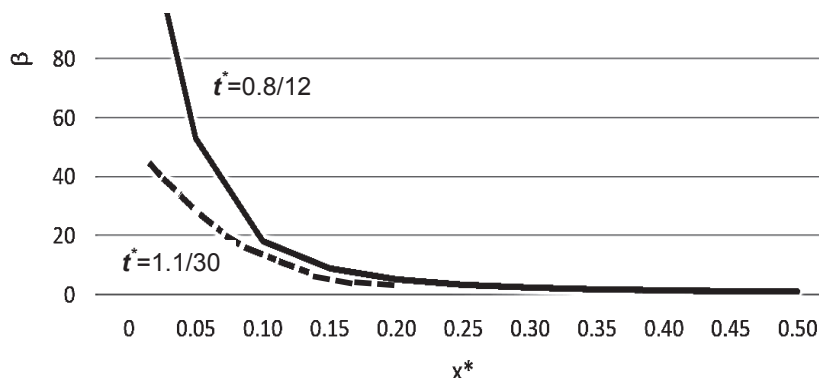


Рис. График зависимости  $\beta$  от  $t^*$  и  $x^*$

Способ реализуют следующим образом. На дренируемых землях выделяют придренные участки трубчатого дренажа шириной от 3,5 до 5 глубин заложения дрен относительно подошвы пахотного слоя. Границы придренных участков отмечают вежами, которые устанавливают на границах полей. Ширина придренных участков зависит от параметров дренажа, которые зависят от водопроницаемости почвогрунтов дренируемого поля и строения почвенного профиля. Ширину придренных участков принимают от 3,5 до 5 глубин заложения трубчатых дрен. Более точно ширину придренных участков рассчитывают по предложенной

Введем коэффициент равномерности скорости фильтрации на междренье:

$$\beta = (v_{y=0, x}) / (v_{y=0, x=l/2}),$$

где  $v_{y=0, x}$ ,  $v_{y=0, x=l/2}$  – скорости фильтрации соответственно на расстоянии  $x$  от дрены и в средней части междренья. Подстановкой в  $v_{y=0, x}$  и  $v_{y=0, x=l/2}$ , затем делением, получаем зависимость для расчета  $\beta$ :

$$\beta = \frac{ch(\pi t^*)}{ch(\pi t^*) - \cos(\pi x^*)},$$

где  $t^* = t/l$ ,  $x^* = x/l$ .

На рисунке показан график зависимости  $\beta$  от  $t^*$  и  $x^*$ .

Из графика следует, что на придренных участках скорость фильтрации в десятки раз превышает ее показатели в средней части междренья. Отсюда более 85% объема дренажной воды, содержащей закисное железо, поступает через придренные участки шириной от 3,5 до 5 глубин заложения дрен. В соответствии с этим целесообразно препараты, снижающие интенсивность заохривания, вносить на придренных участках. В предлагаемой технологии строительства серный колчедан вносят на придренные участки.

Меньшие величины ширины придренных участков принимают на глинистых и суглинистых землях с пониженной водопроницаемостью, большие – на супесчаных и песчаных землях, где водопроницаемость повышена.

Серный колчедан взаимодействует с фильтрующейся водой в верхней части почвенного профиля. Продукты взаимодействия задерживаются нижними слоями почвенного профиля и не поступают в дренажный сток. Отсутствие загрязнения дренажного стока и окружающей среды растворами серного колчедана обеспечивает экологичность предлагаемой технологии.

Поперек направления трубчатого дренажа кротователем нарезают кротовины на глубину до 45 см. Диаметр кротовин составляет до 7 см, расстояние между кротовинами – 2,5-3,0 м. В пределах выделенного придренного участка в момент нарезки кротовин в полость кротовин подают мелкодисперсный порошок серного колчедана. Норма внесения серного колчедана составляет от 40 до 60 г/м и зависит от концентрации закисного железа в дренажной воде. Меньшие величины нормы внесения серного колчедана принимают при концентрации закисного железа в дренажной воде до 5 мг/л, большие – при концентрации более 8 мг/л. Норма внесения серного колчедана менее 40 г/м не оказывает существенного влияния на интенсивность заохривания. Норма внесения серного колчедана более 60 г/м повышает трудоемкость работ без существенного снижения интенсивности заохривания.

Средний размер частиц порошка серного колчедана принимают в пределах от 0,02 до 0,05 мм. При диаметре частиц порошка более 0,05 мм резко снижается равномерность распределения серного колчедана по длине кротовины. При диаметре частиц порошка менее 0,02 мм существенно повышается трудоемкость работ без значительного роста равномерности распределения серного колчедана по длине кротовины. Порошок серного колчедана вносят через дозатор и сопла, установленные на ноже кротователя. Серный колчедан поступает с дренажной водой в зону размещения дренажной трубы. Соединения серы и меди, содержащиеся в серном колчедане, подавляют жизнедеятельность железобактерий и существенно снижают интенсивность отложения окиси железа в отверстия дренажных труб и фильтрах.

**Результаты исследований.** Испытания технологии выполнены в Архангельской области на осушаемом поле площадью 50 га. Концентрация закиси железа в дренажной воде составляет 8 мг/л. Почвы участка – среднесуглинистые. Поле дренировано трубчатым пластмассовым дренажем. Срок эксплуатации составляет 2 года. Длина дрен – 110 м. Глубина заложения трубчатых дрен от подошвы пахотного слоя – 1,0 м. Междренные расстояния – 18 м.

На дренируемом поле вежами выделяют придренные участки шириной 4 м. Кротователем поперек направления трубчатых дрен нарезают кротовины. Диаметр

кротовин составляет 7 см, глубина кротовых дрен – 0,45 м. В пределах придренного участка одновременно с нарезкой кротовин в их полость подают мелкодисперсный порошок серного колчедана. Дозатор настраивают на норму внесения 50 г/м, средний размер частиц порошка – 0,03 мм. На части дренируемого массива в полость кротовых дрен порошок серного колчедана не вносили. Через 2 года после проведения работ участки трубчатых дрен вскрыли. На части дренируемого поля с внесением серного колчедана в дренажных трубах заохрены 2,5% площади водоприемных отверстий. На поле без внесения серного колчедана в полость кротовин в дренажных трубах заохрены 26% площади водоприемных отверстий.

### Выводы

Технология строительства осушительной системы в условиях угрозы заохривания дрен должна включать в себя внесение препаратов, подавляющих жизнедеятельность железобактерий. В качестве препарата используют мелкодисперсный порошок серного колчедана. На придренных участках в полость кротовин вносят в норме 40-60 г/м порошок серного колчедана. Ширину придренных участков принимают в пределах 3,5-5 глубин заложения дрен от подошвы пахотного горизонта. Ширину придренных участков уточняют по величине коэффициента равномерности скорости фильтрации на междренье. Расчет коэффициента равномерности скорости фильтрации на междренье выполняют по предложенной формуле, включающей в себя глубину заложения дрен от подошвы пахотного слоя и расстояния между дренами, а также по предлагаемому графику. Предложенная технология строительства по сравнению с аналогом снижает на 24% интенсивность заохривания трубчатого дренажа.

### Библиографический список

1. Eggelsman R. Dränageleitung für Landbau, Ingenieurbau, landschaftsbau. 2 Aufl. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey, 1981. 265 die s.
2. Способ кротования дренируемых земель: Пат. 2578535 (Российская Федерация, МПКЕ02В11/00, А01В79/02 / А.Е. Касьянов; Заявитель и патентообладатель – ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ

ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева). Заявка № 2014151829/13; Заявл. 22.12.2014 г.; Оpubл. 27.03.2016 г. // Бюл. № 9. 4 с.

3. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория фильтрации грунтовых вод [Формула]. М.: Наука, 1977. 664 с.

Материал поступил в редакцию 03.03.2017 г.

#### Сведения об авторе

**Касьянов Александр Евгеньевич**, 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: kasian64@mail.ru; тел.: 8 (499) 976-30-70.

#### A.YE. KASYANOV

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

## BUILDING OF THE DRAINAGE SYSTEM UNDER THE THREAT OF IRON OXIDE DEPOSITIONS IN DRAINS

*The technology of construction of a drainage system under the threat of iron oxide deposition in drains should include applying of fine-dispersed powder of pyrite into land. On the sites close to drains pyrite powder in the norm of 40-60 g/m is introduced into the cavity of mole casts. The average size of the pyrite powder particles is assumed in the range of 0.02 to 0.05 mm. The width of the nearby drain sites are assumed in the range of 3.5-5 of the drains depths from the bottom of the plow layer. The width is specified by the coefficient value of the uniformity of the filtering speed on the space between drains. The coefficient is determined by the hydromechanics methods of filtration flow on the area between drains and according to the proposed schedule. In comparison with the analogue the recommended construction technology reduces the intensity of the iron oxide deposition in drains by 24%. The technology is environmentally safe.*

*Drained land, drainage, mole cast, pyrite powder, reduction of iron oxide deposition in drains, methods of hydromechanics, ecology.*

#### References

1. Eggelsman R. Dränageleitung für Landbau, Ingenieurbau, landschaftsbau. 2. Aufl. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey, 1981. 265 die s.

2. Sposob krotovaniya dreniruemyh zemel: Pat. 2578535 (Rossijskaya Federatsiya, MP-KE02V 11/00, A01V 79/02 / A.E. Kasyanov; Zayavitel I patentoobladatel – FGBOU VO «Rossijskij gosudarstvenny agrarny universitet – Moskovskaya seljskohozyajstvennaya akademiya imeni C.A. Timiryazeva» (FGBOU VO RGAU-MSHA imeni C.A. Timiryazeva). Zayavka № 2014151829/13; Zayavl. 22.12.2014 г.; Opubl. 27.03.2016 г. // Bul. № 9. 4 с.

3. Polubarinova-Kochina P.Ya. Teoriya filtratsii gruntovyh vod [Formula]. M.: Nauka, 1977. 664 s.

The material was received at the editorial office  
03.03.2017

#### Information about the author

**Kasyanov Alexander Yevgenjevich**, doctor of technical sciences, professor of the chair «Land reclamation and recultivation» FGBOU VO RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Bolshaya Akademicheskaya, d. 44; e: mail: kasian64@mail.ru; tel.: 8 (499) 976-30-70, Russia, Moscow.



УДК 502/504: 628.3:624.15

**И.Ж. АТАБИЕВ**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация**А.Б. БАЛКИЗОВ**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования ФГБОУ ВО  
Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, г. Нальчик, Российская Федерация

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КОНЦЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДЗЕМНОГО КОНТУРА ВОДОНАПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В статье описан принципиально новый метод уменьшения максимальных выходных градиентов фильтрационного потока с использованием геомембран. Аналогичного эффекта можно достичь, используя принципиально новый подход, который заключается в том, что до выхода в нижний бьеф неравномерный фильтрационный поток рассеивается в толще грунта, проходя сквозь горизонтальные полимерные геомембраны с отверстиями. Геомембрана рассеивающего выходного элемента может состоять из цельного полотна с круглыми отверстиями или из отдельных лент, которые, будучи параллельно уложенными, образуют щели. Чтобы предотвратить локальную суффозию грунта вблизи отверстий, следует применять прослойки из минеральных и полимерных защитно-фильтрующих волокнистых или текстильных материалов. При этом они должны укладываться над геомембраной, что не допустит контактной фильтрации вдоль волокон фильтра под рассеивающего выходного элемента.

Геомембрана, полимеры, градиент, суффозия, рассеивающий выходной элемент (РВЭ).

**Введение.** При проектировании подземного контура водонапорных сооружений, в целях уменьшения максимальных выходных градиентов фильтрационного потока, стремятся заглубить концевой участок в грунтовое основание с помощью вертикальных преград в виде низового зуба шпунтового ряда. Это приводит к побочному эффекту, проявляющемуся повышением пьезометрических напоров на флютбет,

а реализация этого мероприятия вызывает значительные материальные затраты.

Аналогичный эффект может быть достигнут при использовании принципиально нового подхода, который заключается в том, что до выхода в нижний бьеф неравномерный фильтрационный поток рассеивается в толще грунта, проходя сквозь горизонтальные полимерные геомембраны с отверстиями (рис. 1) [1, 2].

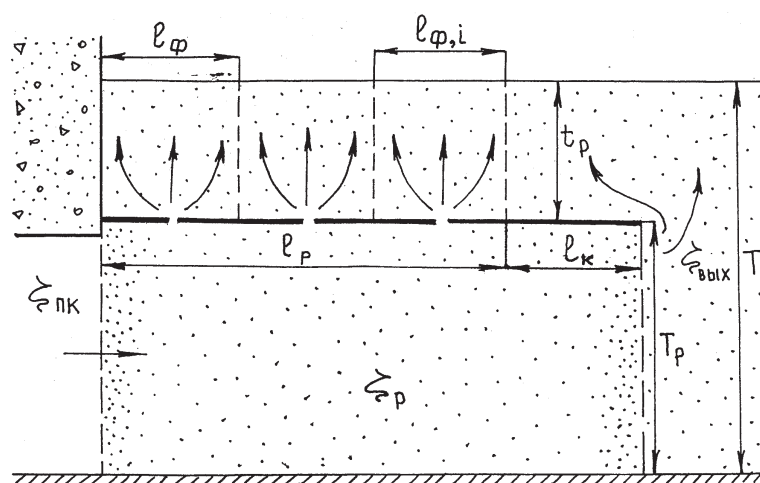


Рис. 1. Схема однослойного рассеивающего выходного элемента

Геомембрана рассеивающего выходного элемента (РВЭ) может состоять из цельного

полотнища с круглыми отверстиями (рис. 2, а) или из отдельных лент, которые, будучи

параллельно уложенными, образуют щели (рис. 2, б). Чтобы предотвратить локальную суффозию грунта вблизи отверстий, следует применять прослойки из минеральных и полимерных защитно-фильтрующих волокнистых или текстильных материалов [3]. При этом они должны укладываться над геомембраной, что не допустит контактной фильтрации вдоль волокон фильтра под РВЭ.

Технологически наиболее простым является устройство РВЭ с постоянной по длине проницаемостью (РВЭ-П). В этом случае радиус отверстий  $r$  или ширина щели  $\delta$  и расстояние между ними  $\ell_0$  будут постоянными.

Необходимо, чтобы по дну нижнего бьефа в начале ( $x = 0$ ) и конце ( $x = \ell_0$ ) РВЭ расчетные величины выходных градиентов не превышали их критических значений, т.е.  $I \leq I_{cr}$ . В силу конструктивных особенностей, заключающихся в неизменном размере отверстий и частоте их расположения, эпюра градиентов (2) (рис. 3) в средней части будет иметь прогиб. Чтобы добиться более полного выравнивания ( $I = \text{const} \leq I_{cr}$ ) этой эпюры (3) (рис. 3), необходимо придать РВЭ некоторую переменную оптимальную проницаемость (РВЭ-Оп), увеличивающуюся по мере с удаления от сооружения.

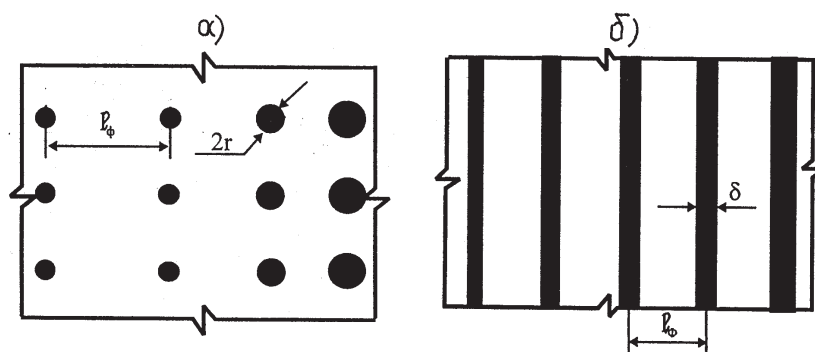


Рис. 2. Расположение круглых отверстий и щелей в геомембране

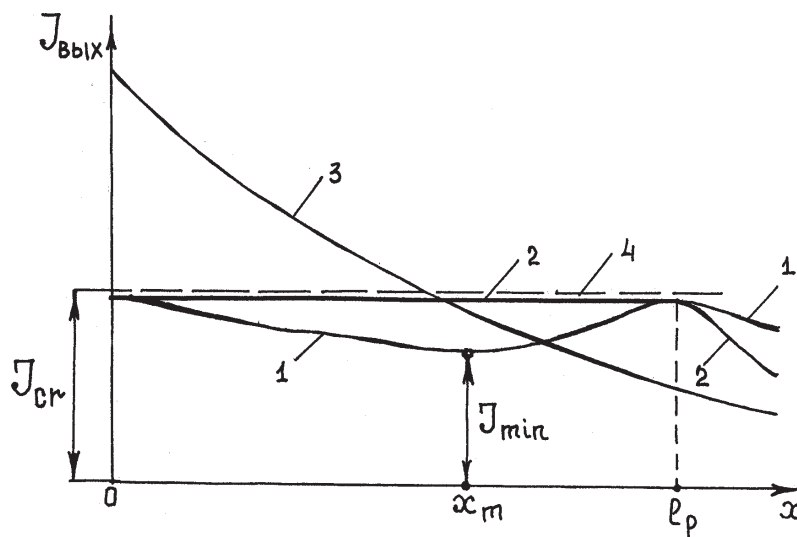


Рис. 3. Вид эпюр выходных градиентов:  
1 – над РВЭ-П; 2 – над РВЭ-Оп; 3 – при отсутствии РВЭ;  
4 – линия местных критических градиентов

**Методы и материалы исследований.** Этого можно добиться тремя основными способами: когда размер отверстий меняется ( $r, \delta \neq \text{const}$ ) при постоянном расстоянии между их центрами ( $\ell_0 = \text{const}$ ); размер отверстий ( $r, \delta = \text{const}$ ) и переменное расстояние ( $\ell_0 \neq \text{const}$ ) являются постоянными; имеет место сочетание различных размеров

отверстий ( $r, \delta \neq \text{const}$ ) и частные расположения ( $\ell_0 \neq \text{const}$ ).

В качестве базовых критериев для последующего расчетного обоснования параметров рассеивающих конструкций служат:

- необходимое значение фильтрационного сопротивления  $\zeta_p$ , оказываемое

РВЭ-потоку, проходящему под ним, для предотвращения фильтрационных деформаций грунтового основания в конце геомембраны ( $I_k \leq I_{cr}$ );

- фильтрационное сопротивление, оказываемое каждым фрагментом РВЭ с одним отверстием  $\zeta_{\phi}$  фильтрационному потоку, проходящему сквозь геомембрану, контролирующее фильтрационную прочность грунтовой пригрузки по всей длине выходного элемента ( $I_{(x)} < I_{cr}$ ).

С учетом общей фильтрационной прочности основания сооружения необходимое значение  $\zeta_p$  должно соответствовать выражению:

$$\zeta_p \geq \frac{H}{T_{cp}} \left( \frac{1}{\alpha \cdot I_{cr}} - \frac{1}{I_{cr,m}} \right) - \zeta_{вых}, \quad (1)$$

где  $H$  – напор воды, действующий на сооружение;  $T_{cp}$  – средняя глубина расположения водоупора по выходным градиентам [4];  $\alpha$  – коэффициент, характеризующий форму выходного фрагмента подземного контура [4] и в данном случае соответствующий горизонтальному концевому участку геомембраны длиной  $\ell_k = t_p$ ;  $\alpha = 2\sqrt{t_p/T_p}$  (рис. 1);  $I_{cr,m}$  – критический средний градиент напора для основания гидротехнического сооружения;  $\zeta_{вых} = 1.5t_p/T_p + 0.44$  – сопротивление концевому участку геомембраны.

**Результаты исследований.** Если РВЭ предполагается использовать для коррекции выходных градиентов уже запроектированный подземный контур, причем последний не отвечает местной фильтрационной прочности ( $I > I_{cr}$ ), то  $\zeta_p$  определяется с формулой:

$$\zeta_p \geq \frac{I}{I_{cr}} \cdot \frac{\alpha'}{\alpha} \left( \frac{H}{I_{cr,m} \cdot T_{cp}} + \zeta'_{вых} \right) - \left( \frac{H}{I_{cr,m} \cdot T_{cp}} + \zeta_{вых} \right), \quad (2)$$

где  $\alpha'$  и  $\zeta'_{вых}$  – соответственно коэффициент формы и сопротивления выходного элемента (уступ, зуб, шпунт) ранее запроектированного подземного контура.

Расчетное значение  $\zeta'$  в зависимости от заданной длины геомембраны РВЭ-П и РВЭ-Оп определяется, соответственно, из выражений [3, 4, 5, 6]:

$$\zeta'_p = \sqrt{\frac{t_{np}}{T_p}} \cdot \frac{1 - h_{вых} / (H_p)_n}{1 - chL_p \cdot h_{вых} / (H_p)_n}, \quad L_p = \frac{\ell_p}{\sqrt{t_{np} \cdot T_p}}; \quad (3)$$

$$\zeta'_p = \frac{\ell_p / T_p}{1 - 0.5 \frac{\mathcal{K}_p}{\mathcal{K}_0} \cdot \frac{\ell_p}{T_p} I \left( \frac{\ell_p}{(H)} - h_{вых} \right)}, \quad (4)$$

где  $t_{np} = \ell_{\phi} \cdot \zeta_{\phi} / \mathcal{K}_0 / \mathcal{K}_p$  – приведенная толщина РВЭ;  $\mathcal{K}_0$  и  $\mathcal{K}_p$  – коэффициент фильтрации соответственно грунта основания и пригрузка геомембраны.

Пьезометрический напор в начале  $(H_p)_n$  и потеря напора  $h_{вых}$  в конце РВЭ определяются следующим образом [4]:

$$(H_p)_n = H \frac{\zeta_p + \zeta_{вых}}{\Sigma \zeta}; h_{вых} = (H_p)_n = H \cdot \frac{\zeta_{вых}}{\Sigma \zeta},$$

где  $\Sigma \zeta = \zeta_{пк} + \zeta_p + \zeta_{вых}$  – суммарный коэффициент сопотввления;  $\zeta_{пк}$  – коэффициент сопротивления подземного контура, расположенного до РВЭ.

Вычисленное  $\zeta'_p$  необходимо сопоставить с необходимым значением  $\zeta_p$ . Если окажется, что  $\zeta'_p < \zeta_p$ , то длину РВЭ следует увеличить, и наоборот. Длина  $\ell_p$ , задаваемая в (3) и (4), должна находиться в пределах  $\ell_{min} < \ell_p < \ell_{max}$ . Минимальная длина определяется из выражения:

$$\ell_{min} = \zeta_p T_p (1 - 0.5 \frac{\mathcal{K}_p}{\mathcal{K}_0} \zeta_p)^{-1}. \quad (5)$$

Максимальная возможная предельная длина РВЭ-П и РВЭ-Оп равны [5, 6]:

$$\ell_{max} = \sqrt{t_{np} \cdot T_p} \cdot \text{Arch} \left( \frac{\zeta_p}{\zeta_{вых}} + 1 \right); \quad (6)$$

Исследования показали, что при любых исходных данных расчетная длина РВЭ-Оп будет всегда меньше длины РВЭ-П:

$$\frac{(\ell_p)_n}{(\ell_p)_{оп}} = 1 + \left( 0.20 - 0.05 \frac{1}{\zeta_{вых}} \sqrt{\frac{t_{np}}{T_p}} \right) \frac{\zeta_p}{\zeta_{вых}} > 1. \quad (8)$$

Необходимо принимать во внимание то, что проектная длина геомембраны должна быть кратной ширине фрагмента:

$$\ell_{np} = n \cdot \ell_{\phi} + \ell_k, \quad (9)$$

где  $n$  – число фрагментов, определяемое после округления числа  $n' = \ell_p / \ell_{\phi}$ . Концевой непроницаемый участок  $\ell_k$  необходим для сглаживания максимума выходных градиентов в конце геомембраны.

Размер отверстий определяется исходя из второго базового критерия, который должен отвечать для любого  $n$ -го фрагмента РВЭ следующему условию:

$$\zeta_{\phi,i} \geq H_p(x_i) / (I_{cr} \cdot \ell_{\phi,i}), \quad (10)$$

где  $H_p(x_i)$  – пьезометрический напор фильтрационного потока под отверстием  $i$ -го фрагмента от начала РВЭ с ординатой  $x_i = (i-0.5) \ell_{\phi}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $\ell_{\phi,i}$  – ширина  $i$ -го фрагмента.

Для постоянных параметров фрагмента РВЭ-П величина  $\zeta_{\phi,n} = \ell_{\phi} = \text{const}$  вычисляется для максимального пьезометрического напора в начале геомембраны  $(H_p)_n$ . Радиус круглого

отверстия «т» и ширина щели  $\delta$  подбираются таким образом, чтобы соблюдались равенства

$$\zeta_{\phi} = \pi^2 \frac{r}{\ell_{\phi}} \operatorname{Arch} \left( ch \frac{\pi t_p}{\ell_{\phi}} / \sin \frac{\pi r}{\ell_{\phi}} \right); \quad (11)$$

$$\zeta_{\phi} = \frac{t_p / \ell_{\phi}}{\delta / \ell_{\phi}} - \frac{1}{\pi} \ln \left[ \cos \left( \frac{\pi}{2} \frac{1}{\delta / \ell_{\phi} + 1} \right) \right]. \quad (12)$$

При  $\ell_{\phi} = t_p$  выражение (11), (12) несколько упрощается, заметим, что предпочтение следует отдавать круглым отверстиям, причем расположенным в вершинах квадрата, так как щели получаются очень узкими и их следует использовать для многослойных РВЭ на слабопроницаемых грунтах [2].

Наиболее удобен расчет РВЭ-Оп, когда меняется диаметр отверстия при постоянном расстоянии между их центрами или шириной фрагмента  $\ell_0 = \ell_{\phi} = \ell_{\phi, n} = \text{const}$ .

Приближенно пьезометрический напор под отверстием  $i$ -го фрагмента

$$H_p(x_i) = h_{\text{вых}} + (H_p)_n - h_{\text{вых}}(i - 0.5 / \ell_{np}) \quad (13)$$

Сравнительный анализ технических характеристик РВЭ-Оп и традиционных конструкций выхода с одинаковым заглублением низового зуба и уступа с горизонтальным непроницаемым бетонным участком передними, равным длине геомембраны  $\ell_r = \ell_p$ , позволил получить соотношение:

$$\frac{I'}{I_p} = \frac{\alpha(\zeta_p + \zeta_{\text{вых}})}{\alpha'(\zeta_p + \zeta_{\text{вых}})}, \quad \zeta_p = \frac{\ell_p}{T_p}, \quad (14)$$

где  $I$  и  $I_p$  – выходные градиенты, соответствующие низовому шпунту (уступу) и РВЭ-Оп.

Численные расчеты показали, что для реальных случаев ( $t_p / T_p < 0.3$ ;  $\ell_p / T_p < 0.4$ ) выходные градиенты сквозь РВЭ-Оп снижаются в  $I'/I_p = 1,2 \dots 2,0$  раза. При этом следует учитывать экономические показатели, связанные с экономией бетона.

Прослеживая необходимую степень относительного удлинения горизонтального участка подземного контура перед низовым зубом или уступом для достижения эквивалентного эффекта в гашении ( $I' = I_p$ ), предлагается использовать

$$\frac{\ell_z}{\ell_p} = \left( 1 + \frac{S}{T_p} \right) \left( \frac{\ell_p}{T_p} \right)^{-1} \left[ \frac{\alpha}{\alpha'} (\zeta_p + \zeta_{\text{вых}}) - \zeta'_{\text{вых}} \right] \quad (15)$$

Принимая в (15) глубину зуба  $S = 0$ , получим соотношение для выходного усту-

па. Построенные нами графики показали, что удлинение горизонтального бетонного контура перед уступом должно минимум в 3 раза превышать длину геомембраны, а перед шпунтом – более чем в 4 раза.

### Выводы

Таким образом, рассеивающие выходные элементы как по фильтрационным, так и по экономическим характеристикам предпочтительнее, чем применяемые в настоящее время средства снижения максимальных выходных градиентов фильтрации.

Использование выходных элементов подземного контура из дискретно-проницаемых геомембран, работающих на принципе рассеивания фильтрационного потока, позволяет рациональным способом снизить максимальные выходные градиенты в конце подземного контура.

Применение выходных элементов подземного контура из дискретно-проницаемых геомембран равномерно распределяет фильтрационный поток по дну нижнего бьефа и предотвращает фильтрационную деформацию грунта основания.

### Библиографический список

1. Флотбет гидротехнического сооружения. Авт. свид. № 1052617. Бюл. № 44, 1983 / ЮжНИИГиМ. Авт. изобрет. В.Н. Бурдинский, Г.Г. Куковский.
2. Флотбет гидротехнического сооружения. Авт. свид. № 1420102. Бюл. № 32, 1988 / Урал НИИВХ. Авт. изобрет. В.Н. Бурдинский, Г.Н. Бурдинский, И.В. Кривенко.
3. Атабиев И.Ж. Совершенствование конструкций и методов расчетного обоснования рассеивающих выходных элементов подземного контура водонапорных гидротехнических сооружений: Автореф. дис. канд. техн. наук. Москва: МГПУ, 2000.
4. Чугаев Р.Р. Подземный контур гидротехнических сооружений. Л.: Энергия, 1974.
5. Бурдинский В.Н., Атабиев И.Ж. Расчет рассеивающего выходного элемента постоянной проницаемости подземного контура гидротехнического сооружения // Сб. научн. тр. КБГСХА. Вып. 1: Вопросы эффективности строительства. Нальчик: КБГСХА, 1998. С. 140-147.
6. Бурдинский В.Н., Атабиев И.Ж. Фильтрация сквозь рассеивающий выходной элемент подземного контура оптимальной проницаемости // Вопросы повышения эффективности строительства: Сб. научн. тр. КБГСХА.



Вып. 1: Вопросы эффективности строительства. Нальчик: КБГСХА, 1998. С. 147-151.

Материал поступил в редакцию 18.05.2016 г.

#### Сведения об авторах

**Атабиев Исхак Жафарович**, доцент, кандидат технических наук ФГБОУ

ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: atabiev-ig@mail.ru.

**Балкизов Афрасим Баширович**, доцент, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО КБГАУ им. В.М. Кокова, 360030, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в; e-mail: afrosim\_1960@mail.ru

#### I.ZH. ATABIEV

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

#### A.B. BALKIZOV

Federal state budgetary educational institution of higher education FSBEI HE «Kabardian – Balkar state agrarian university named after V.M. Kokov», Nalchik, Russian Federation

## IMPROVEMENT OF THE DESIGN OF END ELEMENTS OF THE UNDERGROUND CONTOUR OF WATER PRESSURE FACILITIES

*The paper shows a fundamentally new method of reducing maximum output of the filtration flow gradients with the use of geomembranes. A similar effect can be achieved by using a fundamentally new approach which is that in the downstream uneven filtration flow is dissipated in the soil column, passing through a horizontal polymer geomembrane with holes. The geomembrane of the scattering output element may consist of solid panels with round holes or individual strips that will be laid parallel to form slits. To prevent local soil boil near the holes it is necessary to use a layer of mineral and polymeric protective – filtering fibrous or textile materials. However, they must be placed over the geomembrane that will not allow contact filtration along the filter fibers under the scattering output element.*

*Geomembrane, polymers, gradient, boil, scattering output element (SOE).*

#### References

1. Flyutbet hidrotehnicheskogo sooruzheniya. Avt. Svid. № 1052617. Bul. № 44, 1983 / YuzhNIIGiM. Avt. izobret. V.N. Burdinsky, G.G. Kukovsky
2. Flyutbet hidrotehnicheskogo sooruzheniya. Avt. Svid № 1420102. Bul. № 32, 1988 / Ural NIIVH. Avt. izobret. V.N. Burdinsky, G.N. Burdinsky, I.V. Krivenok.
3. Atabiev I.Zh. Sovershenstvovanie konstruktsij i metodov raschetnogo obosnovaniya rasseivayushchih vyhodnyh elementov rasseivayushchih vyhodnyh elementov vodonapornyh hidrotehnicheskikh sooruzhenij: Avtoref. dis. tehn. nauk. Moskva: MGPU, 2000.
4. Chugaev R.R. Podzemny contour hidrotehnicheskikh sooruzhenij. L.: Energiya, 1974.
5. Burdinsky V.N., Atabiev I.Zh. Raschet rasseivayushchego vyhodnogo elementa postoyannoj pronitsaemosti podzemnogo kontura hidrotehnicheskikh sooruzhenij // Sb. nauchn. tr. KBGSHA. Vyp. 1: Voprosy effektivnosti stroiteljstva. Nalchik: KBGSHA, 1998. S. 140-147.

6. Burdinsky V.N., Atabiev I.Zh. Filjtratsiya skvozij rasseivayushchij vyhodnoj element podzemnogo kontura optimalnoj pronitsaemosti // Voprosy povysheniya effektivnosti stroiteljstva. Sb. Nauchn. Tr. KBGSHA, Vyp. 1: Voprosy effektivnosti stroiteljstva. Nalchik: KBGSHA, 1998. S. 147-151.

The material was received at the editorial office  
18.05.2016

#### Information about the authors

**Atabiev Iskhak Zhafarovich**, associate professor, candidate of technical sciences, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, Timiryazevskaya ul., 49; e-mail: atabiev-ig@mail.ru.

**Balkizov Afrasim Bashirovich**, associate professor, associate professor, candidate of technical sciences, FSBEI HE KBSAU named after V.M. Kokov, 360030, KBR, Nalchik, pr. Lenina, 1v; e-mail: afrosim\_1960@mail.ru

УДК 502/504: 624.13:631.445.12

**А.М. СИЛКИН**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация**Н.Ф. ЖАРНИЦКАЯ**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Ивановский государственный химико-технологический университет», г. Иваново, Российская Федерация**Т.В. НЕКРАСОВА**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

## НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТОРФОВ В ОСНОВАНИЯХ СЕТЕВЫХ СООРУЖЕНИЙ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

*Вопросы использования торфяных залежей в качестве естественного основания сооружений мелиоративных систем всё ещё остаются актуальными, особенно в части расчетного обоснования совместной их работы с сооружениями. Исследования физико-механических свойств торфов показывают, что торф в его естественном состоянии можно использовать в качестве основания сетевых сооружений. Вопрос заключается в том, чтобы достоверно определить ожидаемую величину осадки сооружений (уплотнение торфов). Для этого необходимо выбрать расчетную модель торфяного основания. Многолетние исследования позволили установить, что картина деформируемости под жестким штампом при постепенно возрастающей нагрузке у всех торфов одинакова. Она складывается из одних и тех же фаз (1 – уплотнение с перемещением твердых частиц в зоне под штампом только вертикально вниз; 2 – уплотнение и срез каркаса по периметру штампа с перемещением твердых частиц только вертикально вниз; 3 – катастрофический срез каркаса, выдавливание из него в зоне, находящейся под штампом, вместе с водой гумуса и его боковое расширение, но с продолжающимся уплотнением; 4 – разрушение каркаса и выдавливание его из-под штампа). Но каждой фазе соответствует определенный интервал нагрузок, зависящий от физического состояния торфов. С ростом степени разложения неосушаемых торфов интервалы нагрузок, соответствующие тем или иным фазам, уменьшаются. Некоторые фазы могут быть совершенно незаметными (например, в зависимости от соотношения мощности торфа и размеров штампа). Кроме того, торф имеет хорошую распределительную способность – не меньшую, чем минеральный грунт. Всё это свидетельствует о том, что осадку сетевых гидротехнических сооружений на торфяных грунтах целесообразно определять, используя результаты компрессионных испытаний. Верхней границей сжимаемой толщи является подошва сооружения. Нижней границей сжимаемой толщи торфов основания является минеральный грунт, подстилающий торфяную залежь. Для расчета ожидаемой осадки сооружения строят расчетную схему, на которой, в частности, показывают эпюру природных и дополнительных (сжимающих) напряжений.*

*Торф, торфяная залежь, физико-механические свойства, сетевые сооружения, осадка сооружения, расчетная модель торфяного основания, фазы деформируемости, гумус, степень разложения, минеральный грунт, распределительная способность, компрессионные испытания, сжимаемая толщина, эпюры напряжений.*

**Введение.** В течение многих лет при освоении торфяных залежей для сельскохозяйственного использования конструкция и технология устройства гидромелиоративных систем в целом, а также их сетевых сооружений в результате внедрения достижений научно-исследовательских работ по изучению различ-

ных свойств торфов совершенствовались и улучшались.

На заре развития гидромелиорации строились деревянные, а затем железобетонные, на сваях, сетевые сооружения, что оказалось неэффективным. Торфяное основание «отрывалось» от подошвы сооружения, при необходимости перекрыть пропуск

воды по каналу не удавалось, и вода шла под подошвой сооружения. Поэтому от сооружений на сваях отказались.

Сетевые сооружения, такие, как трубчатые регуляторы с переездом, было предложено строить на так называемых разгрузочных плитах, укладываемых на торфяное основание под каждое звено труб. Однако их эффективность оказалась невысокой. Затем регуляторы доковой конструкции, одно- и двухчковые трубчатые регуляторы с переездом стали строить непосредственно на торфяном основании, но с обязательным предварительным уплотнением торфов. Предварительное уплотнение осуществлялось пригрузочными насыпями. Для ускорения уплотнения торфов под пригрузочной насыпью устраивались песчаные вертикальные дрены.

Используя опыт промышленно-гражданского строительства, предложили строить сетевые сооружения на песчаных подушках, опирающихся на минеральный грунт болот. Такие сооружения были устойчивыми, но их стоимость значительно возрастала.

Прогресс в изучении физико-механических свойств торфов показал, что торф в его естественном состоянии можно использовать в качестве основания сетевых сооружений, усовершенствовав ранее созданные конструкции. Конструкция такого сооружения приведена на рисунке 1. Задача заключалась в том, чтобы достоверно определить ожидаемую осадку сооружения (уплотнение торфов), для чего нужно выбрать расчетную модель торфяного основания.

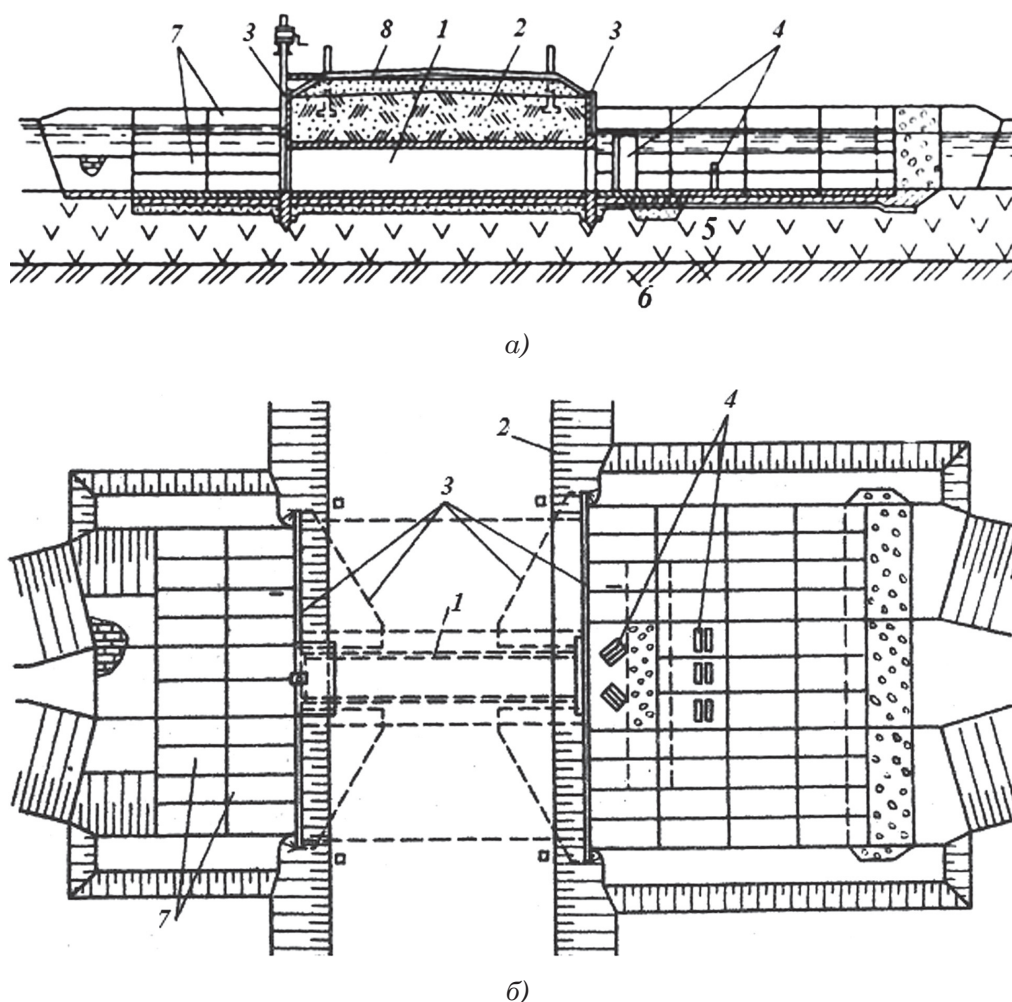


Рис. 1. Принципиальная конструктивная схема регулятора с переездом, имеющего жёсткую неразрезную водопроводящую часть с дорожной насыпью в подпорных стенах:

- а) – продольный разрез; б) – план; 1 – водопроводящая часть (труба);  
 2 – дорожная насыпь; 3 – подпорные стенки-оголовки;  
 4 – водоотводящая часть с гасителями; 5 – торфяное основание;  
 6 – грунт минерального дна болота; 7 – водоподводящая часть

Отмечено [1], что деформирование торфяного основания под фундаментами не соответствует какой-либо известной модели грунтового основания, но наиболее близко подходит винклеровская модель.

Многолетние исследования, проводимые на кафедре оснований и фундаментов МГМИ (затем – МГУП), позволили деформируемость торфов под жесткими фундаментами с плоской подошвой при постепенно возрастающей нагрузке разделить на четыре фазы: 1 – уплотнение с перемещением твердых частиц в зоне под штампом только вертикально вниз; 2 – уплотнение и срез каркаса по периметру штампа с перемещением твердых частиц только вертикально вниз; 3 – катастрофический срез каркаса, выдавливание из него в зоне, находящейся под штампом, вместе с водой гумуса и его боковое расширение, но с продолжающимся уплотнением; 4 – разрушение каркаса и выдавливание его из-под штампа.

**Методы исследования.** Картина деформируемости под жестким штампом при постепенно возрастающей нагрузке у всех торфов одинакова. Она складывается из одних и тех же фаз, но каждой фазе соответствует определенный интервал нагрузок, зависящий от физического состояния торфов. Например, с ростом степени разложения неосушаемых торфов интервалы нагрузок, соответствующие тем или иным фазам,

уменьшаются. Некоторые фазы могут быть совершенно незаметными. Они могут быть незаметными и в зависимости от соотношения мощности торфа и размеров (ширины или диаметра) штампа. Так, при соотношении менее единицы первая фаза практически совмещается со второй, третья – с четвертой.

Схема деформируемости торфяного основания в процессе его нагружения, зафиксированная визуально и инструментально в одном из полевых опытов, показана на рисунке 2. (Рисунки соответствуют: первой фазе – 2, б, в; второй фазе – 2, г; третьей фазе деформирования – 2, д, е.)

Следует отметить, что до степени разложения 45% торфы неосушаемых болот под жесткими штампами четвертой стадии деформирования не имеют. Осадка штампа на всех имеющихся стадиях деформирования при постепенно возрастающей, равномерно распределенной нагрузке равномерная. Поэтому при устройстве гидротехнических сооружений на торфяных основаниях можно допускать все три возможных стадии их деформирования.

Как следует из рисунка 2, внешне деформируемость торфов в основании под жестким фундаментом с плоской подошвой соответствует винклеровской модели. Отсюда ошибочный вывод: торф не обладает распределительной способностью.

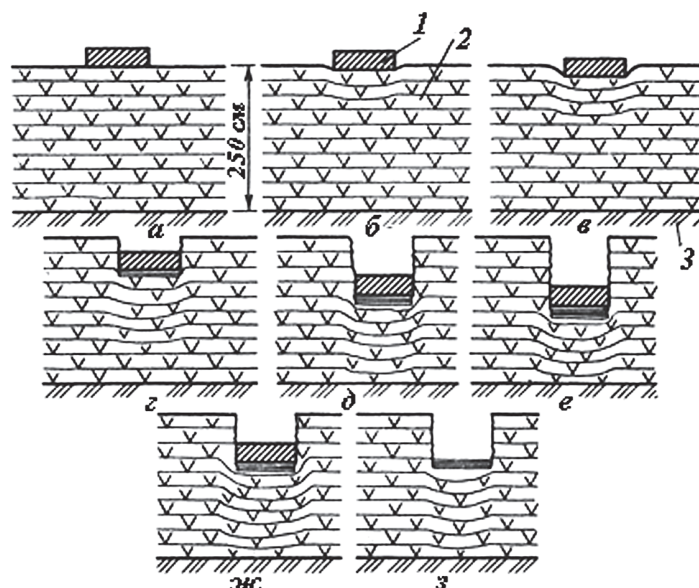


Рис. 2. Схема деформируемости торфяного основания под жестким крупноразмерным штампом в процессе нагружения и разгрузки:  
а – нагрузка не приложена; б...е – под нагрузкой;  
ж...з – после разгрузки; 1 – плита-штамп;  
2 – торфяное основание; 3 – грунт минерального дна болота



Исследования напряженного состояния, проведенные в Белоруссии [2, 3], в Калининском (ныне Тверском) политехническом институте [4], свидетельствовали о том, что торф обладает распределительной способностью. Это хорошо прослеживается на рисунке 3: с глубиной напряжения от нагрузки под плоским штампом уменьшаются, что может быть только в случае, если нагрузка распределяется по большей площади, чем площадь плоского штампа.

Недостатком вышеназванных исследований является то, что штампы имели небольшие размеры. Кафедра оснований и фундаментов МГМИ (МГУП) проводила исследования, применяя крупноразмерные штампы.

**Результаты исследований.** То, что торф имеет хорошую, распределительную способность, не меньшую, чем минеральный грунт, хорошо иллюстрируется рисунком 4, полученным по результатам исследований

напряженного состояния торфов в основании штампа  $100 \times 460$  см. Кроме того, в работах [2, 4, 5] показано, что торф следует рассматривать как линейно-деформируемый массив.

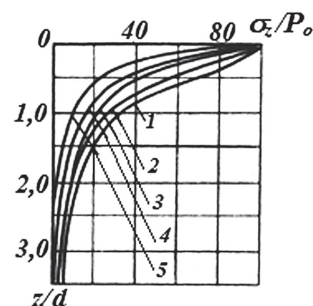


Рис. 3. Эпюры вертикальных напряжений (по Миронову) под центром жесткого штампа диаметром  $d = 80$  см:

1 — теоретическая; 2, 3, 4, 5 — натурные от нагрузок 0,1; 0,075; 0,05 и 0,02 МПа;

$z$  — расстояние по вертикали (глубина) от подошвы штампа до рассматриваемой точки

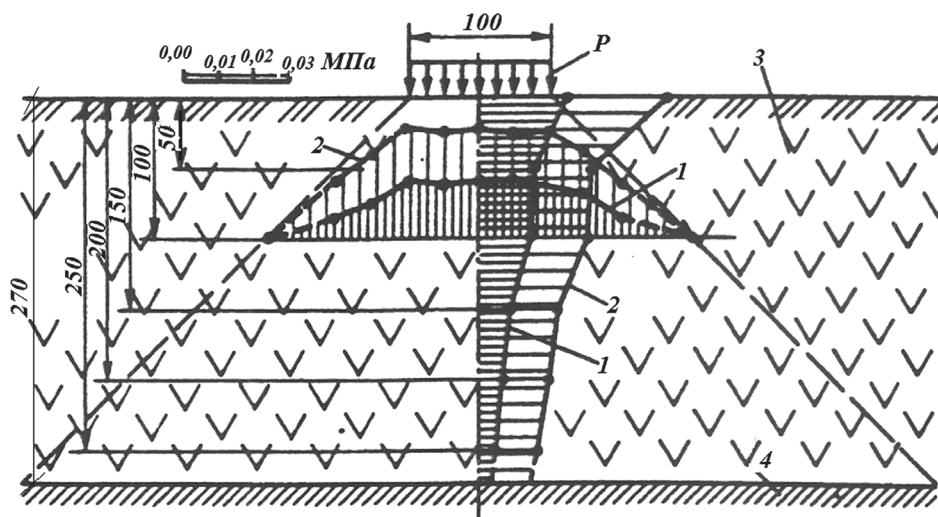


Рис. 4. Экспериментальные эпюры общих вертикальных напряжений в торфяном основании жесткого крупноразмерного штампа:

1 — при  $P = 0,024$  МПа; 2 — при  $P = 0,052$  МПа; 3 — торф;

$P$  — интенсивность внешней нагрузки, см

Учитывая всё вышесказанное, осадку сетевых гидротехнических сооружений целесообразно определять, используя результаты компрессионных испытаний, по формуле:

$$S = \sum [(e_{oi} - e_i) / (1 + e_{oi})] \cdot h_i \quad (1)$$

где  $e_{oi}$  — коэффициент пористости  $i$ -го расчетного слоя торфяного основания при природном напряжении;  $e_i$  — коэффициент пористости торфа  $i$ -го расчетного слоя при напряжении, которое возникает в нём (в слое) после строительства сооружения;  $h_i$  — толщина  $i$ -го расчетного слоя, см.

Верхней границей сжимаемой толщи является подошва сооружения. Нижней границей сжимаемой толщи торфов основания является минеральный грунт, подстилающий торфяную залежь.

Для расчета ожидаемой осадки сооружения, как известно, строят расчетную схему, на которой, в частности, показывают эпюру природных и дополнительных (сжимающих) напряжений. Для более точного построения эпюры (определения ординат) сжимающих напряжений толщу грунтов основания разбивают на расчетные слои.

Известно, что теория линейно-деформируемых тел позволяет определить напряжение от внешней нагрузки только в грунтах, находящихся в стабилизированном состоянии, т.е. в грунтах, в которых процесс уплотнения после их нагружения закончился. Однако при расчете осадок грунт основания разбивают на расчетные слои толщиной  $h_p$ , когда он (грунт) еще находится в естественном (природном) состоянии и нагрузка на него еще не передавалась. Но после строительства сооружения, т.е. после передачи на грунт основания нагрузки, он уплотняется и толщина каждого расчетного слоя, естественно, уменьшается, а следовательно, расстояние от подошвы фундамента (сооружения), например, до нижней границы соответствующего расчетного слоя, также уменьшается, границы слоев перемещаются вниз. Если в основаниях, сложенных минеральными грунтами, эти перемещения относительно малы и на них не обращают внимания (не учитывают), то в основаниях, сложенных торфами, ими пренебрегать, по нашему мнению, нельзя.

На рисунке 5 изображено положение расчетных слоев до нагружения торфяного основания и после нагружения, когда уплотнение торфов закончилось. Там же показаны эпюры сжимающих напряжений, построенные в соответствии с указаниями СП 22.13330.2011.

В качестве примера взяли сооружение с плоской подошвой шириной 1 м, средне-контактное напряжение по подошве – 100 кПа, мощность торфов основания – 2 м, степень разложения торфов – 30%, с начальным коэффициентом пористости 11. В таблице 1 приведены результаты расчета по определению численных значений сжимающих напряжений на границах расчетных слоев и численных значений сжатия слоев.

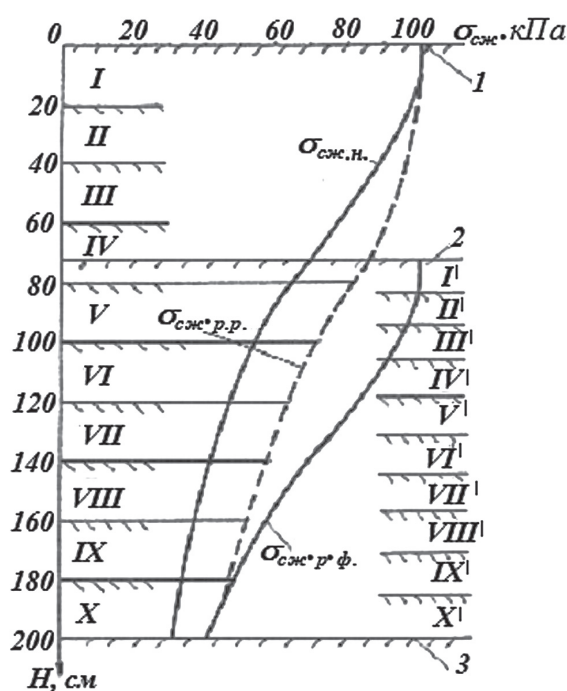


Рис. 5. Эпюры сжимающих напряжений и положения границ расчетных слоев:

- $\sigma_{сж,н.}$  – начальная расчетная эпюра сжимающих напряжений;
- $\sigma_{сж,р.ф.}$  – реальная (фактическая) эпюра сжимающих напряжений;
- $\sigma_{сж,р.р.}$  – реальная расчетная эпюра сжимающих напряжений (это эпюра  $\sigma_{сж,р.ф.}$  «растянутая» на первоначальные границы расчетных слоев);
- 1 – плоскость (поверхность) торфяного основания до нагружения;
- 2 – то же после нагружения и стабилизации;
- 3 – минеральное дно;
- I, II, III ... X – номера и положение расчетных слоев до нагружения;
- I', II', III' ... X' – то же после нагружения при условно полной стабилизации торфяного основания;
- H – мощность торфов основания

Таблица 1

Пример расчёта напряжённо-деформированного состояния торфов основания

| № расчетного слоя | До строительства сооружения |                                     | После строительства сооружения    |            |                    | Расхождения в напряжениях, % |
|-------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------|--------------------|------------------------------|
|                   | $h_p$ , см                  | $\sigma_{сж}$ на границе слоев, кПа | Сжатие расчетных слоев $S_j$ , см | $h_p$ , см | $\sigma_{сж'}$ кПа |                              |
| Конт.             | -                           | 100                                 | -                                 | -          | 100                | -                            |
| 1                 | 20                          | 98                                  | 8,3                               | 11,7       | 99                 | 1                            |
| 2                 | 20                          | 88                                  | 8,1                               | 11,9       | 96                 | 9                            |
| 3                 | 20                          | 76                                  | 7,4                               | 12,6       | 90                 | 18                           |
| 4                 | 20                          | 64                                  | 7,0                               | 13,0       | 82                 | 28                           |
| 5                 | 20                          | 55                                  | 6,5                               | 13,5       | 74                 | 35                           |
| 6                 | 20                          | 48                                  | 6,0                               | 14,0       | 66                 | 38                           |
| 7                 | 20                          | 42                                  | 5,6                               | 14,4       | 58                 | 38                           |
| 8                 | 20                          | 37                                  | 5,3                               | 14,7       | 53                 | 43                           |
| 9                 | 20                          | 34                                  | 4,9                               | 15,1       | 47                 | 38                           |
| 10                | 20                          | 31                                  | 4,8                               | 15,2       | 41                 | 32                           |

Как следует из рисунка 5 и таблицы, в результате сжатия торфяных слоев на границах слоев сжимающие напряжения, которые сформировались и реально уплотнили торф (в первом приближении), существенно больше, чем напряжения, по которым рассчитывают значения осадки фундаментов. Сжимающие напряжения, рассчитанные по действующим рекомендациям СП 22.13330.2011, являются лишь начальными сжимающими напряжениями. Реальными, истинными сжимающими напряжениями на границах расчетных слоев являются напряжения, сформировавшиеся к моменту полной стабилизации, полного уплотнения торфяных оснований. При этих напряжениях и следует производить расчет осадки сооружений (на рисунке 5 их эпюра изображена пунктиром).

### Выводы

Расчет осадок сетевых гидротехнических сооружений, уложенных непосредственно на естественное торфяное основание, целесообразно производить в следующем порядке.

На расчетной схеме показывают разбивку торфяного основания в его естественном состоянии на элементарные (расчетные) слои.

Определяют сжимающие (от веса сооружения) напряжения на границах элементарных слоев  $\sigma_{сж\ n}$ , наносят ординаты напряжений на расчетную схему.

Определяют сжатие и толщину после сжатия каждого элементарного слоя.

Начиная снизу, откладывают толщину элементарных слоев после сжатия, тем самым наносят на расчетной схеме реальное в первом приближении положение границ элементарных слоев после их сжатия.

При новом положении границ элементарных слоев определяют реальные в первом приближении сжимающие напряжения. Строят новую эпюру и «растягивают» её на границы элементарных слоев до их нагружения в естественном состоянии торфяных оснований (эпюра  $\sigma_{сж\ p.p.}$  на рисунке 5).

При новых значениях ординат эпюры сжимающих напряжений определяют сжа-

тие и толщину после сжатия каждого элементарного слоя, и далее – по п.п. 4...6.

### Библиографический список

1. Коновалов П.А. Устройство фундаментов на заторфованных грунтах. М.: Транспорт, 1980. 160 с.
2. Дрозд П.А., Ковальчук П.С., Сельченок В.П. О методике экспериментального изучения напряжений в грунтах // Сб. «Основные результаты, научно-исследовательская работа института за 1957 г. БелНИИ мелиорации и водного хозяйства». Минск, 1958.
3. Дрозд П.А. Сельскохозяйственные дороги на болотах. Минск: «Урожай», 1966. 167 с.
4. Миронов В.А. Анализ напряженно-деформированного состояния торфяных грунтов: Кандидатская диссертация. Калинин, 1974.
5. Дрозд П.А., Рубин А.П. Прочность и деформации низинной торфяной залежи при статических нагрузках / Сб. «Осушение и использование торфяно-болотных почв». Минск: Изд-во АН БССР, 1962. С. 296-317.

Материал получен редакцией 04.02.2017 г.

### Сведения об авторах

**Силкин Александр Михайлович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Основания и фундаменты, строительство и экспертиза объектов недвижимости» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Москва, ул. Большая Академическая, д. 44; тел.: 8-(916)-510-43-64.

**Жарницкая Надежда Фёдоровна**, старший преподаватель ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 7; e-mail: knopdy@mail.ru.; тел.: 8-(929)-648-09-27.

**Некрасова Татьяна Викторовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Основания и фундаменты, строительство и экспертиза объектов недвижимости» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Москва, ул. Большая Академическая, д. 44; e-mail: nectavi@mail.ru; тел.: 8-(915)-042-81-48.

**A.M. SILKIN**

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

**N.F. ZHARNITSKAYA**

Federal state budgetary educational institution of higher education «Ivanovo state chemical-technological university», Ivanovo, Russian Federation

**T.V. NEKRASOVA**

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

## **DEFLECTED MODE OF PEATS IN THE BASES OF NETWORK CONSTRUCTIONS OF HYDRAULIC SYSTEMS**

*Problems of peat deposits usage as a natural basis of structures of reclamation systems still remain actual, especially regarding rated justifications of their joint work with structures. Research of physical-mechanical properties of peats show that peat in its natural condition can be used as the basis of network constructions. The problem is to properly determine the expected size of settlement of structures (compaction of peat). And for this purpose it is necessary to choose a calculated model of peat basis. Long-term research allowed establishing that the deformability picture under a rigid stamp at a gradually increasing loading is identical for all peats. It is made of the same phases (1 – compaction with movement of solid particles in the zone under the stamp only vertically down; 2 – compaction and cut of the structure along on the stamp perimeter with movement of solid particles only vertically down; 3 – a catastrophic cut of the structure, extrusion from it in the zone under the stamp together with the humus water and its side expansion but with the continuing compaction; 4 – destruction of the structure and its extrusion from under the stamp). However the certain interval of loadings corresponds to each phase depending on the peat physical condition. With the growth of decomposition degree of undrained peats the loading intervals corresponding to these or those phases decrease. Some phases can be quite unnoticeable (for example, depending on a ratio of the peat power and stamp sizes). Besides, peat has a good distributive ability – as much as a mineral soil. All this indicates that on the peat soil it is feasible to determine settlement of network hydraulic engineering constructions using results of compression tests. The upper boundary of the compressed thickness is the construction base. The lower boundary of the compressed thickness of peat of the basis is the mineral soil underlying a peat deposit. For calculation of the expected settlement of the structure a rated scheme is built on which, in particular, the diagram of natural and additional (compressing) stresses is shown.*

*Peat, peat deposit, physical-mechanical properties, network constructions, construction settlement, calculated model of peat basis, deformability phases, humus, degree of decomposition, mineral soil, distributive ability, compression tests, compressed thickness, diagrams of tensions.*

**References**

1. Konovalov P.A. Ustroistvo fundamentov na zatorfovannyh gruntah. M.: Transport, 1980. 160 s.
2. Drozd P.A., Kovaljchuk P.S., Seljchenok V.P. O metodike eksperimental'nogo izucheniya napryazhenij v gruntah // Sb. «Os-novnye resul'taty, nauchno-issledovatel'skaya rabota institute za 1957 g. BelNII melioratsii I vodnogo hozyajstva». Minsk, 1958.
3. Drozd P.A. Seljskohozyajstvennye dorogi na bolotah. Minsk: «Urozhaj», 1966. 167 s.
4. Mironov V.A. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya torfyanyh gruntov: Kandidatskaya dissertatsiya. Kalinin, 1974.
5. Drozd P.A., Rubin A.P. Prochnostj i deformatsii nizinnnoj torfyanoj zalezhi pri staticheskikh

nagruzkah // Sb. «Osushenie i ispol'zovanie torfyano-bolotnyh pochv». Minsk: Izd-vo AN BSSR, 1962. S. 296-317.

The material was received at the editorial office  
04.02.2017

**Information about the authors**

**Silkin Alexander Mikhailovich**, doctor of technical sciences, professor of the chair «Bases and foundations, building and expertise of real property» FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Bol'shaya Akademicheskaya, d. 44; tel.: 8-(916)-510-43-64.

**Zharnitskaya Nadezhda Fedorovna**, senior lecturer FSBEI HE «Ivanovo state chemical-technological university», 153000, Ivano-



vskaya region, Ivanovo, pr. Sheremetevsky, d. 7; e-mail: knopdy@mail.ru.; тел.: 8-(929)-648-09-27.

**Nekrasova Tatyana Victorovna**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Bases and foundations, building

and expertise of real property» FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Boljshaya Akademicheskaya, d. 44; e-mail: nectavi@mail.ru; tel.: 8-(915)-042-81-48.

УДК 502/504:551.5:633.49

## Д.Н. ИГНАТЕНКО

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ФГБУ «Северное УГМС»), г. Архангельск, Российская Федерация

## В.Е. ПУТЫРСКИЙ

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

# ИЗУЧЕНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ РФ В ЦЕЛЯХ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЯ (НА ПРИМЕРЕ ХОЛМОГОРСКОГО РАЙОНА)

*Статья содержит исследование, данные наблюдений метеорологической станции М-2 Холмогоры Северного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Сделан вывод о трансформации агроклиматических показателей: уменьшении глубины промерзания, увеличении продолжительности вегетационного периода и сумм эффективных и активных температур, увеличении количества осадков за вегетационный период, снижении риска повреждений заморозками сельскохозяйственных растений. Изменившиеся агроклиматические условия благоприятно влияют на выращивание картофеля. Масса клубней под одним кустом возросла более чем в половину – на 62%. Урожайность картофеля составила 276 ц/га (1975-1984 гг.) и 343 ц/га (2005-2014 гг.), т.е. увеличилась на 24%. Для достижения высоких урожаев картофеля в северных широтах ЕТР в современных климатических условиях рекомендовано использовать качественный семенной материал для эффективных сортообновления и сортосмены; выбирать способ обработки почвы и способ посадки с учетом возможного переувлажнения почвы; базироваться на метеорологических прогнозах и консультациях агрометеорологов о лучших сроках посадки и уборки картофеля; реагировать на сложившиеся метеорологические условия, что поможет минимизировать потери урожая ввиду болезней, вредителей и невозможности своевременного проведения необходимых полевых работ.*

*Агрометеорология, климат, мониторинг окружающей среды, региональные факторы, вегетационный период, оптимизация сельскохозяйственного производства.*

**Введение.** Сельскохозяйственное производство в России по использованию территории отстает от развитых стран ЕС в 2-3 раза. Преобладающая часть неиспользованных агроклиматических ресурсов относится к Нечерноземной зоне РФ [1].

Архангельская область является крупнейшей областью не только в Европейской части России (ЕТР), но и в целом в Европе. Площадь Архангельской области (589913 км<sup>2</sup>) больше площади крупнейших европейских стран: Украины (576388 км<sup>2</sup>), Франции (547030 км<sup>2</sup>) и Испании (504782 км<sup>2</sup>).

Сельское хозяйство Архангельской области имеет ярко выраженную специализацию. Основной объем валовой продукции приходится на долю отраслей животновод-

ства. Растениеводство представлено такими товарными структурами, как картофелеводство и овощеводство. Главные сельскохозяйственные районы расположены на юге области.

Перспективным направлением совершенствования всей системы земледелия области является обеспечение потребности населения в продовольственном картофеле за счет местного производства. Для производства картофеля в Архангельской области есть все необходимые агроклиматические условия: низкий инфекционный фон, глубокое промерзание почвы в зимний период, которое способствует очищению её от возбудителей болезней и вредителей, продолжительный световой день, создающий благо-

приятные условия для быстрого развития растений, достаточное увлажнение почвы. Благодаря этому Архангельская область признана одним из наиболее благоприятных регионов для выращивания картофеля [3].

**Материал и методы.** Изучение региональных факторов изменения климата имеет особое значение для повышения эффективности сельскохозяйственного производства в связи с существенным влиянием глобального потепления на агроклиматические условия [2]. Открывается перспектива более рационального использования существующего и ожидаемого природно-ресурсного потенциала Архангельской области.

Местом исследований выбрана Метеорологическая станция Холмогоры, открытая в 1887 г. в селе Холмогоры, расположенном в центральной части Архангельской области.

Проведенные нами исследования были выполнены на основе данных многолетних наблюдений сети метеорологических (агрометеорологических) станций и постов из фондов Северного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [4], находящихся на территории Архангельской области. В статье отражены некоторые первоочередные выводы.

**Результаты и обсуждение.** Сравнительный анализ агрометеорологических условий в разные периоды, с 1964 г. по 2014 г., показал (рис. 1), что за прошедшие десятилетия в Холмогорском районе Архангельской области наблюдается значительное уменьшение показателей промерзания почвы в зимний период.

Несмотря на то, что высота снежного покрова сильно отличалась год от года, в среднем снижение высоты снежного покрова не отмечается (рис. 2).

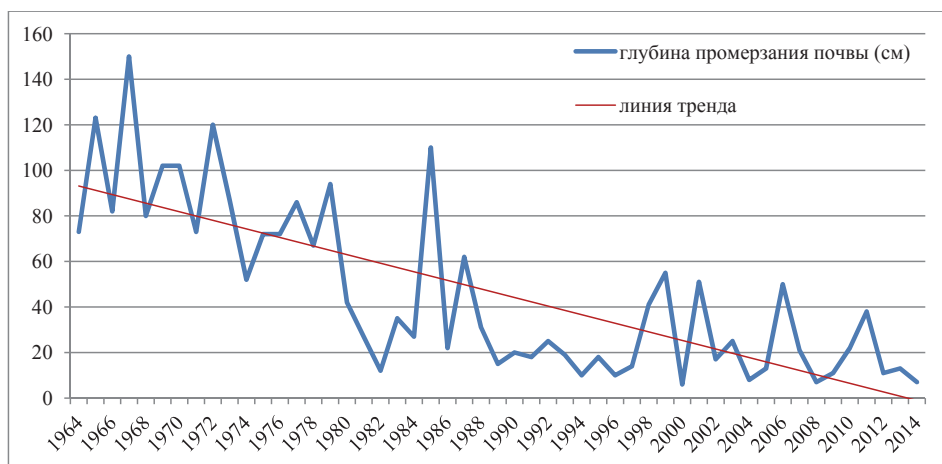


Рис. 1. Изменение глубины промерзания почвы на М-2 Холмогоры (1964-2014 гг.)

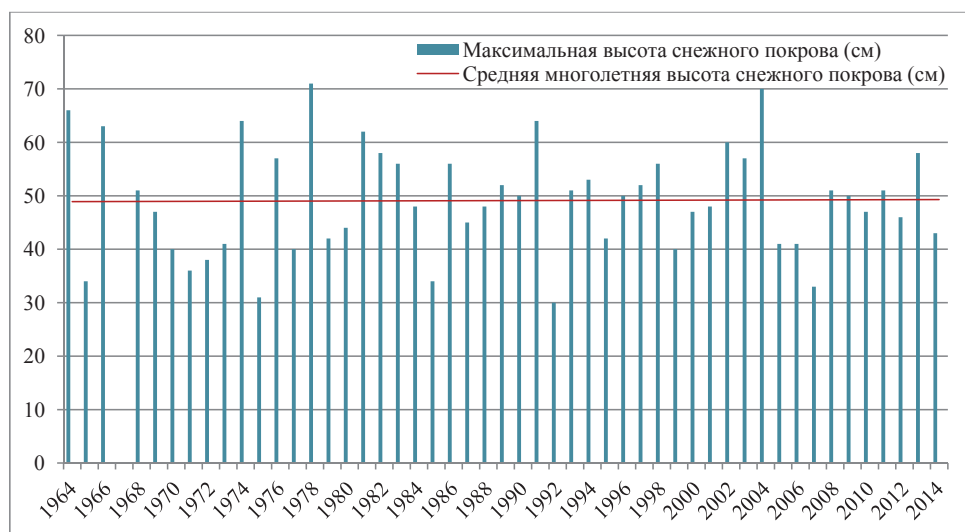


Рис. 2. Изменение максимальной высоты снежного покрова на М-2 Холмогоры (1964-2014 гг.)

Вследствие уменьшения глубины промерзания стало наблюдаться более раннее полное оттаивание почвы весной, следовательно, и достижение ею мягкопластичного состояния, когда возможно проведение полевых работ. Однако дальнейшее уменьшение промерзания почвы в южной половине Архангельской области может привести к распространению вредителей сельскохозяйственных культур, в частности, колорадского жука, и на территорию Холмогорского района.

Последние весенние заморозки в районе М-2 Холмогоры за исследуемый пери-

од наблюдались в основном только в июне, четыре случая легких заморозков ( $-0^{\circ}\text{C}$ ) – в июле (1983 и 1992 гг.). При этом в период с 1964 г. по 1989 г. из 25 лет отмечено 11 лет с заморозками в воздухе и 19 лет – с заморозками на поверхности почвы, а в период с 1990 г. по 2014 г. из 25 лет только два случая заморозка в воздухе (1994 г. и 2007 г.) и 14 лет – с заморозками на поверхности почвы (рис. 3). Заметно уменьшение количества заморозков в летний период, особенно во время активной вегетации растений, что снижает риски повреждения заморозками посадок картофеля.

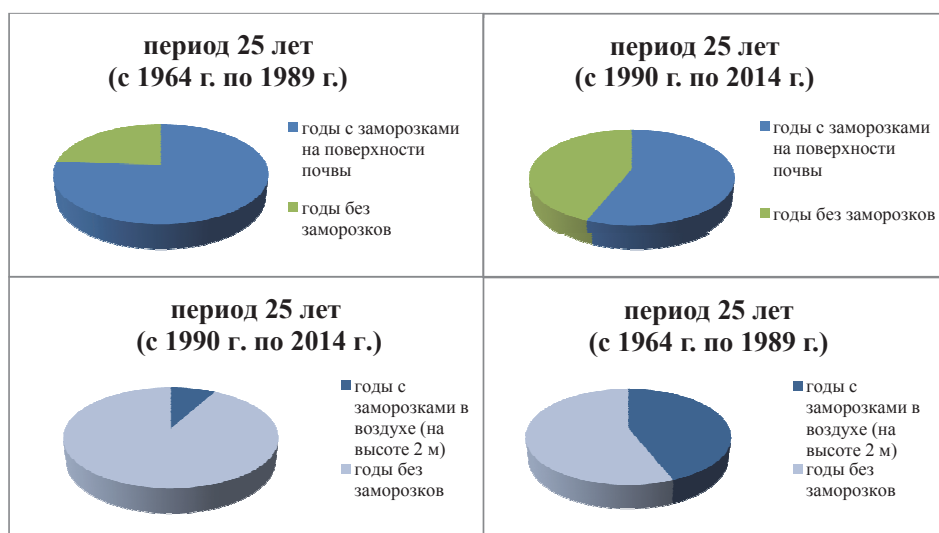


Рис. 3. Изменение количества заморозков в воздухе и на поверхности почвы на М-2 Холмогоры (1964-2014 гг.)

Продолжительность вегетационного периода (от перехода среднесуточной температуры воздуха через  $5^{\circ}\text{C}$  весной до перехода ее осенью) увеличилась в среднем на 10 дней по сравнению с нормой. Летний период (активной вегетации растений) со среднесуточной температурой

воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ , в среднем превышает норму на 25-30 дней. Количество дней со среднесуточной температурой воздуха выше  $15^{\circ}\text{C}$  (пик лета, когда наблюдаются наиболее жаркие дни и теплые ночи) колебалось год от года (от 30 до 60 дней) (рис. 4).

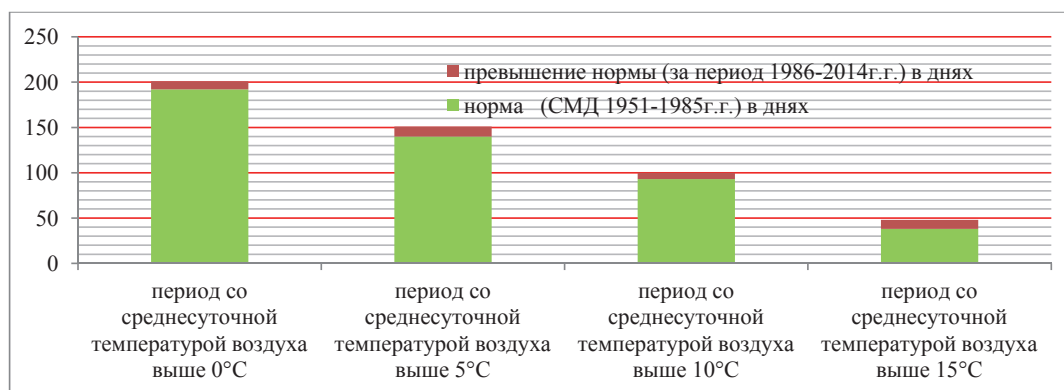


Рис. 4. Увеличение продолжительности периодов от перехода через пределы  $0, 5, 10, 15^{\circ}\text{C}$  по М-2 Холмогоры (1986-2014 гг.) по сравнению с нормой

С увеличением продолжительности вегетационного периода возросли сумма осадков, суммы эффективных (выше 5°C) и активных (выше 10°C) температур воздуха за вегетационный период (табл. 1). В приведенной таблице сравниваются данные за последние десять лет (2005-2014 гг.) расчетного периода со средними многолетними данными (СМД) по М-2 Холмогоры.

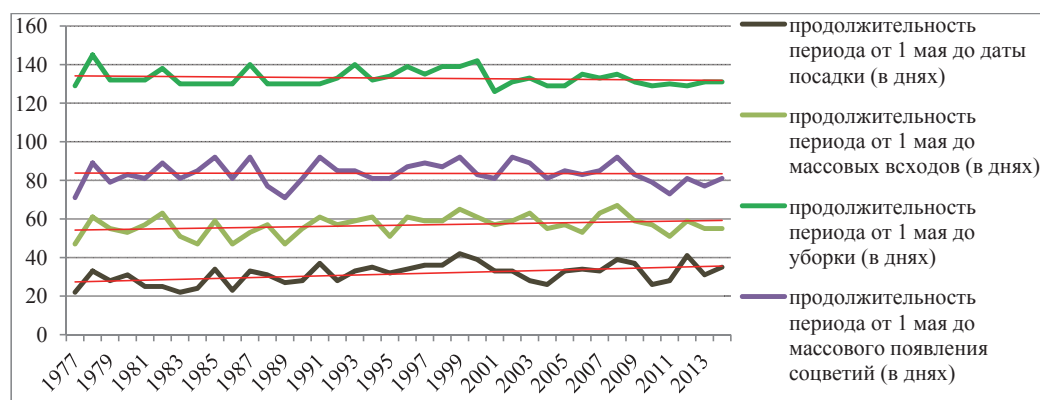
На графике (рис. 5) прослеживается, как менялись даты посадки и даты вступле-

ния растениями картофеля в фазы «Массовые всходы» и «Появление соцветий». Несмотря на то, что даты посадки и даты массовых всходов отмечались позднее, даты массового цветения оставались на прежнем уровне, что заметно по линиям тренда. Это можно объяснить тем, что посадка картофеля в прогретую землю дает возможность растениям картофеля быстрее развиваться и достигать фазы «Появление соцветий» в обычные сроки.

Таблица 1

**Показатели вегетационного периода в районе М-2 Холмогоры**

| Показатели                                | Средние данные за 2005-2014 гг. | Средние многолетние данные (СМД) | Отклонение от СМД |
|-------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Сумма осадков за вегетационный период, мм | 312                             | 276                              | +13%              |
| Сумма эффективных температур воздуха, °С  | 1228                            | 974                              | +26%              |
| Сумма активных температур воздуха, °С     | 1520                            | 1315                             | +16%              |



**Рис. 5. Продолжительность основных периодов развития растений картофеля на наблюдательных участках М-2 Холмогоры (1977-2014 гг.)**

Уборка картофеля с годами сместилась в более ранние сроки. Это связано как с более ранним достижением клубнями картофеля технической спелости, так и с тем, что за последние десятилетия объем площадей под картофелем значительно сокра-

тился и хозяйства раньше могут приступить к уборке.

Исходя из анализа показателей состояния растений, видим, насколько средние характеристики последнего десятилетия отличаются от средних многолетних (табл. 2).

Таблица 2

**Показатели состояния растений и масса клубней картофеля на наблюдательном участке М-2 Холмогоры (2005-2014 гг.)**

| Показатели                                  | Средние данные за 2005-2014 гг. | Средние многолетние данные (СМД) | Отклонение от СМД |
|---------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Высота растений в фазу «Цветение», см       | 40                              | 53                               | -25%              |
| Среднее число клубней под одним кустом, шт. | 14                              | 16                               | -13%              |
| Средняя масса клубней под одним кустом, г   | 984                             | 609                              | +62%              |
| Средняя урожайность картофеля, ц/га         | 343                             | 276 (1975-1984 гг.)              | +24%              |



Приведённые характеристики показывают, что изменившиеся агроклиматические условия благоприятно влияют на выращивание картофеля. Высота растений картофеля уменьшилась на 25%, что предохраняет растения от полегания; количество клубней под кустом уменьшилось на 13%, но при этом масса клубней под одним кустом увеличилась более чем в половину — на 62%.

Нами был проведен расчет средней урожайности картофеля на наблюдательных участках М-2 Холмогоры за два десятилетия с промежутком в 20 лет. Урожайность картофеля составила **276 ц/га** (1975-1984 гг.) и **343 ц/га** (2005-2014 гг.), т.е. увеличилась на 24%.

### Выводы

В Холмогорском районе Архангельской области в связи с изменением климатических условий в последние десятилетия произошла трансформация агроклиматических показателей, а именно:

- уменьшение глубины промерзания;
- увеличение продолжительности вегетационного периода;
- увеличение сумм эффективных и активных температур;
- увеличение сумм осадков за вегетационный период;
- снижение риска повреждений заморозками растений картофеля.

Также можно отметить эволюцию некоторых параметров развития растений картофеля, а именно:

- уменьшение высоты растений в фазу «Цветение»;
- уменьшение количества клубней под кустом;
- увеличение средней массы клубней под одним кустом и урожая в целом.

На основании всего вышеперечисленного следует, что изменение агроклиматических условий благоприятно влияет на увеличение продуктивности картофеля. Поэтому для оптимизации производства картофеля, помимо выполнения общих рекомендаций на перспективу, таких, как освоение современных технологий возделывания, организация переработки картофеля и т.д., следует учитывать меняющиеся агроклиматические факторы.

Чтобы добиться высоких урожаев картофеля в северных широтах, необходимо:

- использовать качественный семенной материал для эффективных сортовобновления и сортосмены;
- выбирать способ обработки почвы и способ посадки с учетом возможного переувлажнения почвы;
- базироваться на метеорологических прогнозах и консультациях агрометеорологов о лучших сроках посадки и уборки картофеля;
- реагировать на сложившиеся метеорологические условия, что поможет минимизировать потери урожая ввиду болезней, вредителей и невозможности своевременного проведения необходимых полевых работ.

### Библиографический список

1. Грингоф И.Г., Павлова В.Н. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. III. Ч. 2: Влияние изменений климата на экосистемы, агроферу и сельскохозяйственное производство. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГ-МИ-МЦД», 2013. 384 с.
2. Жуков В.А., Святкина О.А. Стохастическое моделирование и прогноз агроклиматических ресурсов при адаптации сельского хозяйства к региональным изменениям климата на территории России // Метеорология и гидрология. 2000. № 1. С. 100-109.
3. Пресс-служба губернатора и правительства Архангельской области // [http://dvinaland.ru/prcenter/release/29119/?sphrase\\_id=36827/](http://dvinaland.ru/prcenter/release/29119/?sphrase_id=36827/) (Дата обращения: 02.04.2012 г.).
4. Материалы из фондов Северного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды // [www.sevmeteo.ru/company](http://www.sevmeteo.ru/company) (Дата обращения: 31.10.2016 г.).

Материал поступил в редакцию 21.10.2016 г.

### Сведения об авторах

**Игнатенко Дина Николаевна**, агрометеоролог 1 категории отдела «Агрометеорология и агрометеорологические прогнозы» ФГБУ «Северное УГМС», 163020, г. Архангельск, ул. Маяковского, д. 2; тел.: 8-911-552-63-69; e-mail: isteris@mail.ru;

**Путырский Владимир Евгеньевич**, доктор географических наук, профессор кафедры «Метеорология и климатология» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: 8-903-104-57-01; e-mail: putyrskyl@yandex.ru.

**D.N. IGNATENKO**

Federal state budgetary institution «Northern department on hydrometeorology and environmental monitoring» (FSBI «Severnoye UGMS»), Arkhangelsk, Russian Federation

**V.YE. PUTYRSKY**

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

## **THE STUDY OF AGRO-CLIMATIC CONDITIONS OF THE ARKHANGELSK REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION IN ORDER FOR OPTIMIZATION PURPOSES OF POTATO PRODUCTION (BY THE EXAMPLE OF THE KHOLMOGORY DISTRICT)**

*The article examines the observations of the meteorological station M-2 Holmogory of the Northern department on Hydrometeorology and Environmental Monitoring. There is made a conclusion on transformation of agro-climatic indicators: decrease of freezing depth, increase of the vegetation period duration and amount of effective and active temperatures, increase of precipitation quantity during the vegetation season, decrease of frost damage risk of agricultural plants. The changed agro-climatic conditions favorably effect on potato cultivation. The weight of tubers under one bush has risen by more than a half – 62%. The potato yield was 276 centners/ha (197-1984 years) and 343 centners/ha (2005-2014 years), i.e. have increased by 24%. To achieve high yields of potatoes in the northern latitudes of the ETR under the contemporary climate conditions it is recommended to use a qualitative seed material for effective grade renewal and replacement; to choose the method of soil tillage and planting taking into account possible soil over moistening soil; to base on meteorological forecasts and consultations of agro meteorologists about the best time terms of potatoes planting and harvesting; to respond to the formed meteorological conditions that will help to minimize yield losses due to diseases, pests, and inability to carry out proper necessary field works.*

*Agro meteorology, climate, environmental monitoring, regional factors, vegetation season, optimization of agricultural production.*

**References**

1. Gringof I.G., Pavlova V.N. Osnovy sel'skohozyajstvennoj meteorologii. T. III. Ch. 2: Vliyanie izmenenij climate na ekosistemy, agrosferu i sel'skohozyajstvennoje proizvodstvo. Obninsk: FGBU «VNIIGMI-MTSD», 2013. 384 s.
2. Zhukov V.A., Svyatkina O.A. Stokhasticheskoe modelirovanie i prognoz agroclimaticeskikh resursov pri adaptatsii sel'skogo hozyajstva k regionalnym izmeneniyam climate na territorii Rossii // Meteorologiya i hydrologiya. 2000. № 1. S. 100-109.
3. Press-sluzhba gubernatora i pravitel'stva Arkhangel'skoj oblasti // [http://dvinaland.ru/pr-center/release/29119/?sphrase\\_id=36827/](http://dvinaland.ru/pr-center/release/29119/?sphrase_id=36827/) (Data obrashcheniya: 02.04.2012 г.).
4. Materialy iz fondov Severnogo upravleniya po hydrometeorologii i monitoring okruzhayushchej sredy // [www.sev-meteo.ru/company](http://www.sev-meteo.ru/company) (Data obrashcheniya: 31.10.2016 г.).

meteo.ru/company (Data obrashcheniya: 31.10.2016 г.).

The material was received at the editorial office  
21.10.2016

**Information about the authors**

**Ignatenko Dina Nikolaevna**, agro meteorologist of 1st category of the department «Agro meteorology and agro meteorological forecasts» FSBI «Severnoye UGMS», 163020, Arkhangelsk, ul. Mayakovskogo, d. 2; тел.: 8-911-552-63-69; e-mail [isteris@mail.ru](mailto:isteris@mail.ru);

**Putyrsky Vladimir Yevgenjevich**, doctor of geographical sciences, professor of the chair «Meteorology and climatology» FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d. 49; tel.: 8-903-104-57-01; e-mail [putyrsky1@yandex.ru](mailto:putyrsky1@yandex.ru).

УДК 502/504:631. 631.6: 542.83

**В.П. МАКСИМЕНКО**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, Москва, Российская Федерация

**С.А. МЕНЬШИКОВА, Ю.А. ДЕЕВ**

Общество с ограниченной ответственностью «Экопромпроект», Рязань, Российская Федерация

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННО СОЗДАВАЕМЫХ СУБСТРАТОВ**

*В работе на основе теоретических и экспериментальных исследований рассмотрены вопросы использования карбамидоформальдегидного удобрения, представляющего собой субстрат, созданный на основе углеводородных радикалов. Рассмотрена возможность его применения для комплексного регулирования факторов жизни растений. Разработано и апробировано более совершенное комплексное удобрение-мелиорант, обеспечивающее повышение урожайности сельскохозяйственных культур независимо от исходного плодородия почв и субстратов в теплицах. Приведены результаты апробации мочевино-формальдегидного удобрения как за рубежом, так и его модернизированного варианта в различных регионах России. Показана перспективность комплексных удобрений этого класса для управления факторами жизни растений с целью повышения эффективности аккумуляции приходящей энергии в растениеводческой продукции. Предложен новый вариант повышения эффективности использования биопотенциала сельскохозяйственных культур в аккумуляции потенциальной энергии в почве для последующих культур. В статье рассматривается перспектива управления процессами развития корневых систем, формированием запасов потенциальной энергии в строго заданных объемах, в которых можно заранее размещать весь комплекс макро- и микроэлементов, существенно снизить антропогенную нагрузку на пашню, исключив множество обработок почвы, и строго регламентировать удовлетворение растений в факторах водного и минерального питания посредством применения комплексного удобрения-мелиоранта.*

*Удобрение-мелиорант, плодородие почв, биопотенциал сельскохозяйственных культур, аккумуляция потенциальной энергии, матрица для корневой системы растения, урожайность, прирост урожайности, сельскохозяйственные культуры.*

**Введение.** В работе рассмотрены вопросы использования карбамидоформальдегидного удобрения, представляющего собой субстрат, созданный на основе углеводородных радикалов и несущий возможность использования для комплексного регулирования факторов жизни растений. Об удобрениях такого рода можно найти информацию в учебниках по агрохимии [1, 2, 3, 4]. В дальнейшем удобрение было модернизировано и создано как субстрат многоцелевого назначения [5, 6, 7]. Готовый к использованию субстрат содержит, %, от массы:  $N_{\text{связ}} - 30...32$ ,  $N_{\text{своб}} - 0,2...0,3$ , плотность –  $8...25 \text{ кг/м}^3$ , водопоглощение –

$3300...4000\%$ , количество открытых пор – не менее 85% (табл. 1).

**Материалы, методы и результаты исследований.** Апробация модификаций карбамидоформальдегидного удобрения осуществлена во многих регионах России: в Рязанской [8], Волгоградской и Московской областях [9], в Калмыкии [10], в тепличных комбинатах Рязанской и Вологодской областях при возделывании овощных, салатных, зерновых и кормовых культур [11]. По итогам всех исследований получены положительные результаты. Зарубежные исследования, проводимые с применением прототипа данного удобрения при выращивании раз-

личных культур, также показывали хорошие результаты [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19]. Более подробный обзор исследований в данной области, проводимых как в России, так и в других странах, представлен в таблице 2.

В Рязанской области апробация комплексного карбамидоформальдегидного удо-

брения осуществлялась в лабораторно-полевых условиях при возделывании столовой моркови на подзолистых почвах. В полевом эксперименте прирост урожайности моркови по вариантам внесения удобрений по сравнению с контролем без мелиоранта составил в 2003 г. 15,6...67,7% [20], а в 2004 г. – 26,2...136,0% [21].

Таблица 1

### Характеристика удобрения-мелиоранта на полимерной основе

| Наименование показателя, свойства                       | Количество              |
|---------------------------------------------------------|-------------------------|
| Азот связанный, %                                       | 30,5                    |
| Азот свободный, %                                       | 0,25                    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %                       | 0,37                    |
| K <sub>2</sub> O, %                                     | 0,0016                  |
| MgO, %                                                  | 0,004                   |
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>                            | 22                      |
| Влажность, %                                            | 6                       |
| Водопоглощение, %                                       | 3500                    |
| Плавучесть, %                                           | 100                     |
| Рассыпчатость                                           | хорошая                 |
| Содержание вымываемого формальдегида, г/дм <sup>3</sup> | 0,010                   |
| pH водной вытяжки                                       | 5,8                     |
| Кислотное число, мг КОН/г                               | 28                      |
| Количество открытых пор, %                              | До 85                   |
| Структура ячеек                                         | Смешанная               |
| Степень эластичности                                    | Хрупко-твердый          |
| Горючесть                                               | Трудно воспламеняющийся |
| Предел прочности на сжатие, кгс/см <sup>2</sup>         | 0,20,5                  |
| Устойчивость к растворителям                            | Очень высокая           |
| Коэффициент теплопроводности, ккал/м ч град.            | 0,0230,030              |

Таблица 2

### Прибавка урожайности различных культур при применении комплексного удобрения-мелиоранта

| Культура                        | Прибавка урожайности, % к контролю | Источник информации                                                                                                                |
|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Овес                            | 15,0...50,0                        | Neumann R., Schmidt Ю.А.Н., 1967 [12]                                                                                              |
| Озимая пшеница                  | 11,0                               | Ermich D., Drabner H.J., 1970 [13]                                                                                                 |
| Рожь на зеленый корм            | до 20,0                            | Gora A., 1969 [14]                                                                                                                 |
| Кукуруза                        | до 28,0                            | Ermich D., Drabner H.J., 1970 [13]                                                                                                 |
| Райграс                         | 16,0                               | Will H., 1968 [15]                                                                                                                 |
| Картофель                       | 4,2...39,0                         | Мажайский Ю. А. с соавт., 2009 [22]; Максименко В.П. с соавт., 2015 [23]; Ermich D., Drabner H.J., 1970 [13]; Konker H., 1973 [16] |
| Сахарная свекла                 | до 9,0                             | Ermich D., Drabner H.J., 1970 [13]                                                                                                 |
| Люпин                           | 10,0...128,3                       | Жигулина Е. В. с соавт., 2007 [24]; Neumann R., Schmidt H., 1967 [12]                                                              |
| Томаты                          | 38,0...81,0                        | Максименко В. П. соавт., 2009 [21]; Geibler Th., Starske P., 1972 [17]; Kaniszevski S., 1974 [18]                                  |
| Огурцы                          | до 48,0                            | Geibler Th., Starske P., 1972 [17]; Kaniszevski S., 1974 [18]                                                                      |
| Редька, салат, стручковый перец | 33,0                               | Prun H., 1975 [19]                                                                                                                 |
| Морковь                         | 15,6...136,0                       | Максименко В. П. с соавт., 2004, 2007 [20; 21]; Will H., 1968 [15]                                                                 |
| Пырей солончаковый              | 11,5...364,3                       | Максименко В. П. с соавт., 2004, 2007 [10; 25]                                                                                     |



Применение удобрения при выращивании картофеля в Рязанской области на серых лесных почвах с высоким уровнем их плодородия (средняя урожайность картофеля на контрольном участке за три года исследований составила 42 т/га) способствовало увеличению продуктивности картофеля сорта «Санте» в зависимости от дозы его внесения на 4,2...33,3% [22]. Эксперимент с картофелем был повторен в Московской области на торфяно-болотных почвах, имеющих также высокий уровень плодородия, в производственных условиях на землях Яхромского сельскохозяйственного колледжа. При урожайности картофеля на контрольном участке 44,3 т/га внесение удобрения мелиоранта обеспечило прирост продуктивности культуры на 6,8...35,7% [23].

При возделывании люпина узколистного на супесчаных подзолистых почвах на участках, где внесены были ранее (за три года до посева культуры) различные дозы удобрения-мелиоранта, последствие его способствовало приросту ее урожайности на 28,3...128,3% [24].

В Калмыкии при проведении лабораторных опытов по возделыванию пырея солончакового продуктивность культуры по вариантам внесения удобрения была выше. Прирост урожайности достигал 11,5...42,5% по сравнению с контрольным вариантом [25]. В последующих полевых опытах на засоленных почвах в полупустынных условиях продуктивность пырея удлиненного сорта «Солончаковый» по вариантам внесения доз удобрения (мелиоранта) прирост урожайности по сравнению с контролем составил 57,1...364,3% [10].

В тепличном комбинате «Солнышко» (Рязанская область) при выращивании томатов в производственных условиях по малообъемной технологии прирост урожайности томатов на вариантах опыта составил 38...81%. Рентабельность производства увеличилась с 0,05 до 0,27...0,32 руб. прибыли/руб. затрат [21, 26].

Первые рекогносцировочные модельные эксперименты по выращиванию салатной культуры рукколы сорта «Рокет» были проведены в лабораторно-полевых условиях Московской области с применением удобрения-мелиоранта и использованием в качестве основного субстрата торфяно-болотные почвы. На фоне внесения разных доз удобрения-мелиоранта прирост биологической массы составил 4,4...9,2% [9].

В дальнейшем апробация технологии была осуществлена в комбинате «Тепличный» сельскохозяйственного производственного комплекса в Вологодской области при выращивании рукколы методом проточной гидропоники с применением комплексного удобрения-мелиоранта. Прирост биологической массы культуры в зависимости от вариантов по дозе внесения субстрата составил 0,5...45,1% [27].

**Обсуждение результатов исследований.** В проведенных экспериментах мы ориентировались на практикуемые способы внесения удобрений в почву, которые осуществлялись разбрасыванием, концентрированно в борозду, с последующей заделкой игольчатыми бородами или традиционно вспашкой с оборотом пласта, а в теплицах – приготовлением смешанных субстратов. При этом затраты удобрения-мелиоранта сильно варьировали по дозам внесения. Исследования показали, что наиболее эффективно использовалось концентрированное внесение в борозду или при приготовлении тепличных комплексных субстратов.

Эффект от применения комплексного удобрения-мелиоранта обеспечивается не только за счет внесения комплекса макро- и микроудобрений, дополнительного аккумулирования влаги, повышения аэрированности почвы, обеспечивающих повышение урожайности культуры, но и за счет повышения общего плодородия почвы, устойчивое поддержание которого на практике сопровождается весьма затратными технологическими процессами, включающими в себя большие дозы органических и минеральных удобрений. Вместе с тем значительную долю затрат на эти процессы может взять на себя само растение.

Если мы обратим внимание на этот процесс, происходящий в естественных условиях формирования биоценозов, то обнаружим следующую картину. Растение на начальном этапе своего развития развивается (живет) за счет накопленной энергии предшественником. По мере развития оно начинает аккумулировать приходящую энергию в репродуктивных органах и в корневой системе. Ее биологическая масса у некоторых культур может превышать надземную часть и после отмирания последней является резервом (запасом) потенциальной жизненной энергии для последующих культур. Для растениеводов это явление давно знакомо, и оно используется при севооборотах. Одна-

ко при этом процесс не всегда идет по предполагаемому направлению из-за неблагоприятных условий для развития корневой системы растений как продукта фотосинтеза, так и формирования запасов потенциальной энергии. Повысить эффективность аккумуляции приходящей энергии растением в биологической массе и в почве можно путем формирования условий для более интенсивного накопления биологической массы его корневой системой. Такими условиями могут быть:

- беспрепятственное свободное распространение корней в почве;
- достаточное содержание в почве на начальном этапе развития растения элементов питания и влаги;
- сбалансированное под конкретную культуру необходимое количество макро- и микроэлементов питания;
- заранее сформированные микроочаги накопления органической массы корней.

Отсюда в первую очередь улучшению будут подлежать те земли, на которых будет проявляться наибольший эффект, т.е. на низкоплодородных, которые под антропогенным прессингом уплотнены, в почвенном профиле сформировались иллювиальные прослойки, препятствующие распространению корневой системы, а запасы гумуса незначительны. Для таких условий удобрение-мелиорант, имеющее жесткую высокопористую структуру, наполненную комплексом биофильных веществ [9], доступных растению, можно использовать как матрицу – хранилище заданной формы и размеров, куда растение будет аккумулялировать приходящую солнечную энергию, легкодоступную для последующих растений в форме корневых остатков.

Здесь открывается для растениеводов и мелиораторов перспектива управления процессами развития корневых систем, формированием запасов потенциальной энергии в строго заданных объемах, в которых можно заранее размещать весь комплекс макро- и микроэлементов, существенно снизить антропогенную нагрузку на пахню, исключив множество обработок почвы, и главное – строго регламентировать удовлетворение растений в факторах водного и минерального питания. Сегодня можно рассчитать потенциальные возможности любой сельскохозяйственной культуры, дать количественную оценку накопленной энергии за вегетационный период и то, на какие

запасы энергии может рассчитывать земледелец для сохранения устойчивого баланса в почвенном плодородии, что обеспечит существенную экономию энергетических и материальных ресурсов при производстве растениеводческой продукции.

Существенным фактором, обеспечивающим устойчивую урожайность культуры, является обеспечение растений влагой. Наиболее благоприятными являются условия, при которых корневая система растения без больших затрат энергии на свое формирование может использовать влагозапасы из большого объема почвы. В соответствии с разработками О.Г. Грамматика [28] основное количество влаги меньше наименьшей влагоемкости и удерживается в почве капиллярными силами. Такое состояние влагозапасов отнесено ею к статически доступной влаге. При этом состоянии влажности почвы поступление влаги в растение осуществляется путем отбора ее корневыми системами, движущимися к источнику влаги и находящимися в непосредственной близости к нему. Предлагаемый нами субстрат, имеющий высокую пористость, обеспечивающую влагоемкость до 3500...4000% от его массы, позволяет более полно аккумулялировать влагу в почве за осенне-зимний и весенний периоды и сохранять ее в доступной для растения форме. При этом пористость субстрата должна характеризоваться капиллярами более 200 микрон, чтобы растение имело возможность при необходимости, определяемой напряженностью гидротермического режима, свободно распространять корневую систему и поглощать хранящуюся в субстрате влагу, насыщенную всем комплексом необходимых элементов питания.

Если учесть, что удобрение обладает свойством пролонгированного действия, то перспектива для снижения антропогенной нагрузки резко возрастает, создавая более благоприятные экологические условия.

### Выводы

Выдвинутые положения о необходимости комплексного регулирования факторов жизни растений направлены не только на повышение продуктивности культуры, но и в значительной степени – на формирование плодородия почв за счет потенциальных возможностей самого растения. Применение комплексного удобрения-мелиоранта и его аналогов создает перспективу

управления процессами развития корневых систем, формированием запасов потенциальной энергии в строго заданных объемах, в которых можно заранее размещать весь комплекс макро- и микроэлементов, существенно снизить антропогенную нагрузку на пашню, исключив множество обработок почвы, строго регламентировать удовлетворение растений в водном и минеральном питании посредством применения комплексного удобрения-мелиоранта.

### Библиографический список

1. Агрохимия: Учебник / Под ред. акад. ВАСХНИЛ В.М. Ключковского, заслуженного деятеля науки А.В. Петербургского. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Колос, 1967. 583 с.
2. Кульман А. Искусственные структурообразователи почвы / Пер. с нем.: Предисловие Н.Г. Ракипова. М.: Колос, 1982. 158 с.
3. Агрохимия / Под ред. В.А. Ягодина. 2-е изд., перераб. и доп. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений). М.: Агропромиздат, 1989. 639 с.
4. Мелиоративное земледелие / Под ред. А.И. Голованова (Учебники и учебные пособия для высших с.-х. учеб. заведений). М.: Агропромиздат, 1986. 328 с.
5. Мелкозеров В.М., Нагорный Л.Д., Олейник В.В., Махновецкий А.Б., Максименко В.П., Мажайский Ю.А., Деев С.Ю., Бородычев В.В., Адьяев С.Б., Чапланова М.П. Вспененное карбамидоформальдегидное удобрение и способ его получения. Патент РФ № 2230719, С1, 7 С 05 С 9/02 от 04 августа 2003 г. БИПМ № 17 от 20.06.2004 г.
6. Кизяев Б.М. Способ подготовки вспененного карбамидоформальдегидного удобрения к внесению под вспашку / Б.М. Кизяев, В.К. Губин, В.В. Бородычев, В.П. Максименко, М.Ю. Храбров, П.В. Максименко, В.Б. Жезмер, Н.В. Коломийцев, С.А. Сидорова, Л.В. Кудрявцева // Патент РФ № 2497338; С1, МПК, А01С 3/00, С05С 9/02 (2006.01): Заявитель и патентообладатель – Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова Россельхозакадемии (RU), заявка № 2012125140/13 от 18.06.2012 г., зарегистрировано 10 ноября 2013 г., опубл. 10.11.2013 г. Бюл. № 31. 7 с.
7. Губин В.К. Способ комплексной мелиорации орошаемых солонцовых земель / В.К. Губин, В.П. Максименко, С.А. Меньшикова // Патент РФ № 2557715; С1, МПК, Е02В А01В79/02 (2006.01). Заявитель и патентообладатель – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова» (ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»); заявка № 2014110790 от 21.03.2014 г., опубликовано 27.07.2015 г. Бюл. № 21. 8 с.
8. Максименко В.П., Мажайский Ю.А., Попова Ю.С. Применение многофункционального модифицированного удобрения-мелиоранта при возделывании картофеля // Плодородие. 2008. № 2. С. 24-25.
9. Кирейчева Л.В., Максименко В.П., Меньшикова С.А. Применение полимер-разрыхлителей при выращивании руколы (индау) на торфяно-болотных почвах Московской области // Комплексные мелиорации – средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель: Сборник материалов Юбилейной Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБНУ «ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова. Москва, 26-27 ноября 2014 г. М.: ВНИИГиМ, 2014. С. 80-85.
10. Максименко В.П., Адьяев С.Б., Чапланова М.П. Нормирование орошения пырея удлиненного сорта «Солончаковый» в условиях полупустынного климата Калмыкии // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования: Сборник материалов Юбилейной Международной научно-практической конференции «Костяковские чтения». Т. 1 / ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, Москва. М.: ВНИИА, 2007. С. 276-283.
11. Максименко В.П., Меньшикова С.А. Экологические аспекты мелиоративных технологий при использовании комплексных удобрений // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: Сборник научных трудов. Вып. 7 / Под общ. ред. Ю.А. Мажайского. Рязань: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2016. С. 3-7.
12. Neumann R. Untersuchungen zur verbesserung des wasserhaushaltes leichter boden durch anwendung von aminoplastschaum / Neumann R., Schmidt H., Wiss Z. // Univ. Halle, 1967, 26, 5. P. 773-788.
13. Ermich D. Untersuchungen zur verbesserung der nutzungsmoglichkeiten eines lehm-staugleys mit hilfe chemischer bodenverbesserungsmittel / Ermich D. Drabner H.-J. // Vertrag vor. D. Bodenkundl Ges, der DDR, Kom. V. VI «Mineralische Grunwas-

ser – u Staunasse Boden», Rostock. Mai, 1970. P. 19-21.

14. Gora A. Zur melioration tonreicher boden mit synthetischenschaumstoffen / Gora A. // A. – Thaer-Arch., 1969. № 13. P. 547-558.

15. Will H. Die wirkung von hygromull als bodenverbesserungs-mittel / Will H // BASF-Mitt. F. den Landbau, Dung, 1968. P. 1-7.

16. Konker H. Zur Eignung hydrophiler schaumkunststoffe als bodenverbesserungsmittel / Konker H., Wiss. Z. // Univ. Rostock, Math. Nat. Reihe, 1973. P. 261-271.

17. Geibler Th. Anwendung von harnstoff-formaldehydharz-schaurnstoff und plas-ten / Geibler Th., Starske P., Wiss. Z. Berlin.: Humboldt-Univ, 1972. P. 234-241.

18. Kaniszevski S. Wirkung von harnstoff-formaldehyd-schaum auf die ver-besserung physikalischer eigenschaften und fruchtbarkeit eines sandigen bodens (poln.) / Kaniszevski S. // Roeniki nauk Rol-niczyst, 1974, Seria A, 100, 2.

19. Prun H. Uber die wirkung von polyvi-nylpropionat und butadiene-/sterol-copolym-erisat zur bodenstabilisierung bei saaten von betaruben / Prun H. // Feldsalat und Gemuse Z. Landwirtschaftl. Forsch., Frankfurt, 1972, Sonderh. 28/1. P. 288-296.

20. Максименко В.П. Повышение плодородия подзолистых почв с использованием карбамидоформальдегидного порошката / В.П. Максименко, С.Ю. Деев, Ю.А. Мажайский // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: Сборник научных трудов Мещерского ф-ла ГНУ ВНИИГиМ; Под общ. ред. Ю.А. Мажайского. Рязань: Рязоблтипография, 2004. С. 557-563.

21. Максименко В.П., Деев С.Ю., Меньшикова С.А. Многофункциональный модифицированный мелиорант «МЕНОМ» // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования: Сборник материалов Юбилейной Международной научно-практической конференции «Костяковские чтения». Т. 1 / ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, Москва. М.: ВНИИА, 2007. С. 284-290.

22. Мажайский Ю.А., Максименко В.П., Попова Ю.С. Эффективность применения нового удобрения-мелиоранта пролонгированного действия при возделывании картофеля на серых лесных почвах // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства:

Сборник материалов научных чтений, посвященных памяти члена-корреспондента РАСХН и НАНКС, академика МАЭП и РАВН Якова Васильевича Бочкарева. Вып. 8. Рязань: РязГАУ им. П.А. Костычева, 2009. С. 301-307.

23. Максименко В.П., Волчкова Т.Л., Меньшикова С.А. Повышение урожайности картофеля при использовании удобрения-мелиоранта на полимерной основе // Плодородие. 2015. № 4. С. 39-42.

24. Жигулина Е.В., Максименко В.П., Матюхин Р.И. Проявление процессов синергизма под влиянием многофункционального модифицированного мелиоранта «Меном» при возделывании люпина узколистного сорта «Дикаф-14» // Новые технологии и экологическая безопасность в мелиорации: Сборник научных докладов Международной (4-й Всероссийской) конференции молодых ученых и специалистов / Ассоциация организаций водохозяйственного комплекса, ФГНУ ВНИИ «Радуга». Коломна: ФГНУ ВНИИ «Радуга», 2007. С. 92-98.

25. Максименко В.П., Чапланова М.П., Нагорный Л.Д. Влияние высокомолекулярного удобрения-аэранта «МЕНОМ» на продукционный процесс пырея солончакового // Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии и техника в орошаемом земледелии: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции 1-4 декабря 2003 г. Ч. II / ФГНУ ВНИИ «Радуга». Коломна: ФГНУ ВНИИ «Радуга», 2004. С. 118-123.

26. Максименко В.П., Деев С.Ю., Меньшикова С.А. Химическая мелиорация почв с использованием композитного агрохимиката на углеродной структуре // Агрохимический вестник. 2009. № 4. С. 30-31.

27. Меньшикова С.А. Выращивание руколы методом гидропоники с применением комплексного удобрения-мелиоранта на полимерной основе //

Инновационные технологии и экологическая безопасность в мелиорации: Сб. научных докладов IX Международной (13-й Всероссийской) конференции молодых ученых и специалистов 8 октября 2016 г. Коломна: ФГБНУ ВНИИ «Радуга», 2016. С. 90-95.

28. Грамматикати О.Г. Методика изучения доступности растениям почвенной влаги // Почвоведение. 1969. № 7. С. 76-84.

Материал поступил в редакцию 17.02.2017 г.



## Сведения об авторах

**Максименко Владимир Пантелеевич**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом мелиорации земель ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, корпус 2; тел.: +7 (495) 153-63-80; +7 (916) 617-88-78; e-mail: maksymenko@mail.ru

**Меньшикова Снежана Александровна**, младший научный сотрудник ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, корпус 2; тел.: +7 (926) 254-14-90; +7 (964) 661-03-82; e-mail: men.s.a@mail.ru

**Деев Сергей Юрьевич**, специалист 1 категории ООО «Экопромпроект», г. Рязань, Россия, тел.: 8 (4912) 77-71-33

## V.P. MAKSIMENKO

Federal state budgetary research institution «All-Russian research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A.N. Kostyakov», Moscow, Russian Federation

## S.A. MENJSHIKOVA, YU.A. DEEV

Closed company «Ecopromproject», Ryazan, Russian Federation

## THE PROSPECTS FOR RECOVERY OF SOIL FERTILITY USING ARTIFICIALLY CREATED SUBSTRATES

*The article is based on theoretical and experimental research dealt with the use of urea-formaldehyde fertilizer which is a substrate created on the basis of hydrocarbon radicals. There is considered the possibility of its applying for the complex regulation of factors of plants life. Developing and testing A more perfect complex fertilizer-ameliorant has been developed and approved ensuring higher crop yields regardless of the initial fertility of soils and substrates in greenhouses.*

*It presents the approbation results of the urea-formaldehyde fertilizer both abroad and with its upgraded version in different regions of Russia. The article shows complex fertilizers of this class to be perspective to control the factors of plants life in order to raise the efficiency of accumulation of the incoming energy in plant products. There is proposed a new variant of raising the efficiency of using a biopotential of agricultural crops in accumulation of the potential energy in the soil for subsequent crops. The article considers the prospect of controlling the processes of root systems, formation of reserves of the potential energy in a strictly specified volumes in which it will be possible to place the whole complex of macro- and micronutrients, significantly reduce the anthropogenic loading on the arable land excluding a number of soil treatments and strictly regulate the plants satisfaction in the factors of water and mineral nutrition through the use of the complex fertilizers-ameliorant.*

*Fertilizer-ameliorant, soil fertility, biological potential of agricultural crops, accumulation of potential energy, matrix for the plant's root system, yield, yields increase, agricultural crops.*

## References

1. Agrohimiya: Uchebnik / Pod red. acad. VASHNIL V.M. Klechkovskogo, zasluzhenno-go deyatelya nauki A.V. Peterburgskogo. Izd. 2-e, ispr. i dop. M.: Kolos, 1967. 583 s.
2. Kuljman A. Iskustvennye strukturoobrazovateli pochvy / Per. s nem.: Predislovie N.G. Rakipova. M.: Kolos, 1982. 158 s.
3. Agrohimiya / Pod red. V.Ya. Yagodina. 2-e izd., pererab. i dop. (Uchebniki I uchebnye posobiya dlya studentov vysshih uchebnyh zavedenij). M.: Agropromizdat, 1989. 639 s.
4. Meliorativnoe zemledelie / Pod red. A.I. Golovanova (Uchebniki I uchebnye posobiya dlya vysshih sel'skokozyajstvennyh uchebnyh zavedenij). M.: Agropromizdat, 1986. 328 s.
5. Melkozerov V.M., Nagorny L.D., Olejnik V.V., Mahnovetsky A.B., Maksimenko V.P., Mazhaysky Yu.A., Deev S.Yu., Borodychev V.V., Adjyaev S.B., Chaplanova M.P. Vspenennoe karbamidoformaljdigidnoe udobrenie i sposob ego polucheniya. Patent RF № 2230719, S1, 7 S05 S9/02 ot 04 avgusta 2003 g. BIPM № 17 ot 20.06.2004 g.
6. Kizyaev B.M. Sposob podgotovki vspennogo karbamidoformaljdigidnogo udobreniya k vneseniyu pod vspashku / B.M. Kizyaev, V.K. Gubin, V.V. Borodychev, V.P. Maksimenko, M.Yu. Hrabrov, P.V. Maksimenko, V.B. Zhezmer, N.B. Kolomijtsev, S.A. Sidorova, L.V. Kuderyavtseva // Patent RF № 2497338; S1, MPK, A01S3/00, S05S9/02 (2006.01): Zayavitelj i patentoobladatel – Gosudarstvennyj

nauchno-issledovatel'skij institutе hydrotehniki I melioratsii im. A.N. Kostyakova Rossel'nozhovozhcademii (RU), zayavka № 2012125140/13 ot 18.06.2012 g., zaregistrirovano 10 noyabrya 2013 g., opubl. 10.11.2013 g. Byul. № 31. 7 s.

7. Gubin V.K. Sposob complexnoj melioratsii oroshaemyh solontsovyh zemel / V.K. Gubin, V.P. Maksimenko, S.A. Menjshikova // Patent RF № 2557715; S1, MPK, E02B A01B79/02 (2006.01). Zayavitelj i patentoobladatel – FGBNU «Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institutе hydrotehniki I melioratsii im. A.N. Kostyakova» (FGBNU «VNIIGiM im. A.N. Kostyakova»); zayavka № 2014110790 ot 21.03.2014 g., opublikovano 27.07.2015 g. Byul. № 21. 8 s.

8. Maksimenko V.P., Mazhaysky Yu.A., Popova Yu.S. Primenenie mnogofunctionalnogo modifitsirovannogo udobreniya-melioranta pri vozdeleyvanii kartofelya // Plodorodie. 2008. № 2. S. 24-25.

9. Kirejcheva L.V., Maksimenko V.P., Menjshikova S.A. Primenenie polimerov-razryhlitelej pri vyrashchivanii rukoly (indau) na torfyano-bolotnyh pochvah Moskovskoj oblasti // Complexnye melioratsii – sredstvo povysheniya produktivnosti sel'skokhozyajstvennyh zemel: Sbornik materialov Yubilejnoj Mezhdunarodnoj nauchno-practicheskoy konferentsii, posvyashchennoj 90-letiyu FGBNU «VNIIGiM imeni A.N. Kostyakova. Moskva, 26-27 noyabrya 2014 g. M.: VNIIGiM, 2014. S. 80-85.

10. Maksimenko V.P., Adjyaev S.B., Chaplanova M.P. Normirovanie orosheniya pyreya udlinennogo sorta «Solonchakovy» v usloviyah polupustynnogo climate Kalmykii // Problemy ustojchivogo razvitiya melioratsii I ratsional'nogo prirodoopol'zovaniya: Sbornik materialov Yubilejnoj Mezhdunarodnoj nauchno-practicheskoy konferentsii «Kostyakovskie chteniya». T. 1 / VNIIGiM im. A.N. Kostyakova, Moskva. M.: VNIIA, 2007. S. 276-283.

11. Maksimenko V.P., Menjshikova S.A. Ecologicheskie aspekty meliorativnyh tehnologij pri ispol'zovanii kompleksnyh udobrenij // Ecologicheskoe sostoyanie prirodnoj sredy i nauchno-practicheskie aspect sovremennyh meliorativnyh tehnologij: Sbornik nauchnyh trudov. Vyp. 7 / Pod obshch. Red. Yu.A. Mazhayskogo. Ryazan: FGBNU «VNIIGiM im. A.N. Kostyakova», 2016. S. 3-7.

12. Neumann R. Untersuchungen zur verbesserung des wasserhaushaltes leichter boden durch anwendung von aminoplastschaum / Neumann R., Schmidt H., Wiss Z. // Univ. Halle, 1967, 26, 5. P. 773-788.

13. Ermich D. Untersuchungen zur verbesserung der nutzungsmoglichkeiten eines lehm-staugleys mit hilfechemischer bodenverbesserungsmittel / Ermich D. Drabner H. – J. // Vertrag vor. D. Bodenkundl Ges, der DDR, Kom. V. VI «Mineralische Grunwasser – u Staunasse Boden», Rostock. Mai, 1970. P. 19-21.

14. Gora A. Zur melioration tonreicher boden mit synthetischschaumstoffen / Gora A. // A. – Thaer-Arch., 1969. № 13. P. 547-558.

15. Will H. Die wirkung von hygromull als bodenverbesserungsmittel / Will H. // BASF-Mitt. F. den Landbau, Dung, 1968. P. 1-7.

16. Konker H. Zur Eignung hydrophiler schaumkunststoffe als bodenverbesserungsmittel / Konker H., Wiss Z. // Univ. Rostock, Math. Nat. Reihe, 1973. P. 261-271.

17. Geibler Th. Anwendung von harnstoff-formaldehydharz-schaurnstoff und plas-ten / Geibler Th., Starske P., Wiss. Z. Berlin.: Humboldt-Univ, 1972. P. 234-241.

18. Kaniszevski S. Wirkung von harnstoff-formaldehyd-schaum auf die verbesserung physikalischer eigenschaften und fruchtbarkeit eines sandigen bodens (poln.) / Kaniszevski S. // Roeniki nauk Rolniczytch, 1974, Seria A, 100, 2.

19. Prun H. Über die wirkung von polyvinylpropionat und butadiene-/sterol-copolym-erisat zur bodenstabilisierung bei saaten von betaruben / Prun H. // Feldsalat und Gemuse Z. Landwirtschaftl. Forsch., Frankfurt, 1972, Sonderh. 28/1. P. 288-296.

20. Maksimenko V.P. Povyschenie plodorodiya podzolistykh pochv s ispol'zovaniem karbamidoformal'degidnogo poroplasta / V.P. Maksimenko S.Yu. Deev, Yu.A. Mazhaysky // Ecologicheskoe sostoyanie prirodnoj sredy I nauchno-practicheskie aspect sovremennyh meliorativnyh tehnologij: Sbornik nauchnyh trudov Meshcherskogo f-la GNU VNIIGiM; Pod obshch. Red. Yu.A. Mazhayskogo. Ryazan: Ryazobl'tipografiya, 2004. S. 557-563.

21. Maksimenko V.P., Deev S.Yu., Menjshikova S.A. Mnogofunctionalnyny modifitsirovanny meliorant «MENOM» // Problemy ustojchivogo razvitiya melioratsii I ratsional'nogo prirodoopol'zovaniya: Sbornik materialov Yubilejnoj Mezhdunarodnoj nauchno-practicheskoy konferentsii «Kostyakovskie chteniya». T. 1 / VNIIGiM im. A.N. Kostyakova, Moskva. M.: VNIIA, 2007. S. 284-290.

22. Mazhaysky Yu.A., Maksimenko V.P., Popova Yu.S. Effectivnostj primeneniya no-

vogo udobreniya-melioranta prolongirovanogo dejstviya pri vozdeystvii kartofelya na seryh lesnyh pochvah // *Sovremennye energo- i resursosberegayushchie, ekologicheski ustoichivye tehnologii I sistemy sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: Sbornik materialov nauchnyh chtenij, posvyashchennyh pamyati chlena-correspondenta RASHN I NANKR, akademika MAEP i RAVN Yakova Vasiljevicha Bochkareva*. Vyp. 8. Ryazan: RyazGAU im. P.A. Kostycheva, 2009. S. 301-307.

23. Maksimenko V.P., Volchkova T.L., Menjshikova S.A. Povyshenie urozhajnosti kartofelya pri ispol'zovanii udobreniya-melioranta na polimernoj osnove // Volchkova T.L., Menjshikova S.A. Povyshenie urozhajnosti kartofelya pri ispol'zovanii udobreniya-melioranta na polimernoj osnove. // *Plodorodie*. 2015. № 4. S. 39-42.

24. Zhigulina E.V., Maksimenko V.P., Matyuhin R.I. Proyavlenie protsessov sinergizma pod vliyaniem mnogofunktsional'nogo modifitsirovannogo melioranta «Menom» pri vozdeystvii lyupina uzkolistnogo sorta «Dikaf-14» // *Novye tehnologii I ekologicheskaya bezopasnostj v melioratsii: Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj (4-j Vserossijskoj) konferentsii molodyh uchenykh I spetsialistov / Assotsiatsiya organizatsij vodohozyajstvennogo kompleksa, FGNU VNII «Raduga»*. Kolomna: FGNU VNII «Raduga», 2007. S. 92-98.

25. Maksimenko V.P., Chaplanova M.P., Nagorny L.D. Vliyanie vysokomolekulyarnogo udobreniya-aeranta «MENOM» na produktsionny protsess pyreya solonchakovogo // *Resursosberegayushchie I energoefektivnye tehnologii I tehnika v oroshaemom zemledelii: Sbornik nauchnyh dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-practicheskoy konferentsii 1-4 dekabrya 2003 g. Ch. II / FGNU*

VNII «Raduga». Kolomna: FGNU VNII «Raduga», 2004. S. 118-123.

26. Maksimenko V.P., Deev S.Yu., Menjshikova S.A. Himicheskaya melioratsiya pochv s ispol'zovaniem kompozitnogo agrokimikata na uglerodnoj structure // *Agrohimicheskij vestnik*. 2009. № 4. S. 30-31.

27. Menjshikova S.A. Vyrashchivanie rukoly metodom hydroponiki s primeneniem kompleksnogo udobreniya-melioranta na polimernoj osnove // *Innovatsionnye tehnologii i ekologicheskaya bezopasnostj v melioratsii: Sb. Nauchnyh dokladov IX Mezhdunarodnoj (13-j Vserossijskoj) konferentsii molodyh uchenykh i spetsialistov 8 oktyabrya 2016 g. Kolomna: FGNU VNII «Raduga»*, 2016. S. 90-95.

28. Grammatikati O.G. Metodika izucheniya dostupnosti rasyeniyam pochvennoj vlazgi // *Pochvovedenie*. 1969. № 7. S. 76-84.

The material was received at the editorial office  
17.02.2017

#### Information about the authors

**Maksimenko Vladimir Panteleevich**, doctor of agricultural sciences, chief scientific officer, head of department of land reclamation of FSBSI «VNIIGIM named after A.N. Kostyakov», 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya street, 44 case 2; phone number: +7-495-153-63-80; +7-916-617-88-78; e-mail: maksymenko@mail.ru

**Menshikova Snezhana Alexandrovna**, junior researcher, FSBSI «VNIIGIM named after A.N. Kostyakov», 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya street, 44 case 2; phone number: +7-926-254-14-90; +7-964-661-03-82; e-mail: men.s.a@mail.ru

**Deev Sergey Yuryevich**, specialist of the 1st category of LLC «Ekopromproekt», Ryazan, Russia; phone number: +7-4912-77-71-33

УДК 502/504:631.42: 631.432:631.6:631.95

**Н.П. КАРПЕНКО**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

**А.С. СЕЙТКАЗИЕВ, А.К. МАЙМАКОВА**

Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНО-СОЛЕВОГО РЕЖИМА ПОЧВ НА ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЛЯХ ХОЗЯЙСТВ «ТУЙМЕКЕН» И «ДИХАН» ЖАМБЫЛСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Основная цель исследований связана с разработкой методов регулирования водно-солевого режима деградированных засоленных сероземно-луговых почв Жамбылской области и эколого-мелиоративных мероприятий по улучшению их мелиоративного состояния и восстановления продукционного потенциала. На основе изучения водно-физических свойств сероземно-луговых засоленных и солонцовых почв орошаемых массивов Жамбылской области была проведена количественная оценка экологической ситуации, которую можно оценить как очень опасную и чрезвычайно опасную. Практическим результатом является комплекс исследований по изучению водно-физических и агрохимических свойств почв (содержание гумуса, валовое содержание азота, фосфора, калия; емкость поглощения, поглощенные основания, водная вытяжка, засоленность и т.д.), на основании которых была проведена оценка экологических коэффициентов, характеризующих различные уровни экологической опасности сероземно-луговых засоленных и солонцовых почв орошаемых массивов Жамбылской области. На основании водно-физических и агрохимических свойств почв были разработаны методы и технологии по улучшению эколого-мелиоративных условий засоленных и солонцовых почв орошаемых массивов хозяйств «Туймекен» и «Дихан» Жамбылской области с использованием глубокого рыхления как способа структурной мелиорации. При разработке ресурсосберегающих технологий по рассолению и вымыванию солей для данного региона определены оптимальные промывные нормы для засоленных карбонатных почв в зависимости от механического состава почв, применение которых позволит восстановить их продукционный потенциал и получить на данной территории гарантированные урожаи сельскохозяйственных культур.*

*Засоленные почвы, почвообразовательный процесс, деградация, плодородие, водно-солевой режим, орошение, поливные нормы.*

**Введение.** Одним из опасных видов деградации в засушливых пустынных и пустынно-степных регионах Казахстана является развитие деградационных процессов в сероземах и сероземно-луговых почвах, связанных с высокой степенью их засоления, наличием солонцов и такыров. Такие почвы являются малопродуктивными с точки зрения использования их для земледелия, и без проведения комплексных мелиораций восстановить их продукционный потенциал не представляется возможным.

На территории Жамбылской области Казахстана основными природными зонами являются пустыни, предгорные полупустыни и горы. В результате экстенсивного освоения водных и земельных ресурсов в области полностью исчезла целая ландшафтная зона – предгорные пустыни [1].

В Жамбылской области ухудшение экологического состояния земель происхо-

дит практически во всех природных комплексах: руслах рек и озер; в пойменных и прилегающих к ним пустынных землях; наблюдается резкое ухудшение состояния флоры и фауны. К числу основных причин ухудшения природных условий относятся изменение гидрологического и гидрохимического режимов водных объектов; отсутствие ведомственного звена, решающего вопросы охраны, регулирования, использования растительных ресурсов вдоль русла рек и других водоемов; экстенсивное освоение и использование земельных ресурсов, высокие оросительные нормы на орошаемых землях, локальная перегрузка пастбищ; нерегламентированный охотничий, рыбный и другие виды промыслов и т.д. Поэтому одной из актуальных проблем в этом регионе является проблема восстановления деградированных почв пустынной зоны с целью повышения продуктивности агроландшаф-



тов и получение гарантированных урожаев сельскохозяйственных земель.

**Материал и методы исследований.** Территория Жамбылской области характеризуется широким распространением серо-бурых почв, содержит небольшой гумусовый горизонт мощностью 9...16 см, существенно пересушенный из-за легкого механизма. Содержание гумуса не превышает 1%, почвы бедны питательными веществами и подвержены дефляционным процессам. Среди серо-бурых почв пятнами распространены солонцы и солончаки, в которых сумма солей достигает 80...85%, содержание гумуса находится в пределах 0,5...1,5%.

Жамбылская область по уровню развития сельскохозяйственного производства является одной из ведущих в Республике Казахстан. Здесь исторически получили развитие такие важнейшие отрасли народного хозяй-

ства, как животноводство и земледелие, причем основной урожай сельскохозяйственных культур собирается на орошаемых землях.

В настоящее время на орошаемых землях области возделываются такие ценные сельскохозяйственные культуры, как хлопчатник, рис, кукуруза на зерно, плодово-ягодные культуры, овощи. Рост валовой продукции земледелия на орошаемых землях способствует развитию не только сельскохозяйственного сектора, но и других отраслей экономики. Так, сельскохозяйственное производство области в общей доле общереспубликанского объема валовой сельскохозяйственной продукции составляет 4,6%.

Территория Жамбылской области насчитывает 14426,4 тыс. га земель, среди которых сельхозугодья составляют 10489,2 тыс. га, причем пашня составляет лишь 851,7 тыс. га (табл. 1).

Таблица 1

**Удельный вес сельскохозяйственных угодий  
по административным районам Жамбылской области**

| №№<br>п/п | Наименование районов | Всего земель, тыс. га | Сельхозугодья | Пашни |
|-----------|----------------------|-----------------------|---------------|-------|
| 1         | Байзакский           | 446,4                 | 411,2         | 63,9  |
| 2         | Жамбылский           | 429,3                 | 412,8         | 66,7  |
| 3         | Жуальинский          | 421,3                 | 330,9         | 106,8 |
| 4         | Кордайский           | 897,4                 | 804,8         | 146,9 |
| 5         | Меркенский           | 705,7                 | 640,6         | 98,6  |
| 6         | Мойынкумский         | 5045,1                | 2565,5        | 8,9   |
| 7         | Сарысуйский          | 3136,1                | 2372,3        | 23,9  |
| 8         | Таласский            | 1220,6                | 1033,6        | 25,6  |
| 9         | им. Т. Рыскулова     | 908,7                 | 835,6         | 148,1 |
| 10        | Шуский               | 120,3                 | 1079,0        | 160,3 |
| 11        | г. Тараз             | 12,8                  | 2,9           | 2,0   |
| 12        | Территория области   | 14426,4               | 10489,2       | 851,7 |

Для восстановления плодородия деградированных почв необходимо проводить комплексные мелиорации (оросительные мелиорации) и применять комплекс методов по регулированию водно-солевого режима для улучшения эколого-мелиоративных условий. Однако проведение мелиоративных мероприятий на территории Жамбылской области осложнено развитием сильнозасоленных почв и развитием солонцов, освоение которых представляют определенные трудности.

Анализ многочисленных исследований по решению данной проблемы свидетельствует о применении и значительном влиянии глубоких мелиоративных обработок на климат почвы, который складывается из теплового, водного и воздушного режимов, определяющих характер и направление

почвообразовательных процессов. С целью улучшения плодородия солонцовых почв предлагаемые приемы оправданы, однако вопрос об их влиянии на зональные типы почв требует всестороннего изучения и возникает неизбежно, так как одной из особенностей солонцов является комплексность залегания, причем доля их залегания изменяется в широких пределах. В этих условиях апробированные приемы регулирования водного, воздушного, теплового режимов нуждаются в пересмотре и корректировке в соответствии с новыми требованиями [2, 3].

Обоснованность применения глубоких мелиоративных обработок при освоении солонцов диктуется еще и тем, что химические свойства солонцовых почв, в частности, высокое содержание натрия и магния, еще

не являются показателем возможности получения урожая на солонцах. Важную роль при этом играют водно-воздушные свойства, которые зависят от плотности сложения почвы. Однако отсутствие детальных данных о влиянии глубокой обработки на зональные типы почв не позволяет сделать однозначный вывод о ее эффективности.

#### Материал и методы исследований.

Исследования по изучению водно-солевого режима почв проводились на засоленных землях хозяйств «Туймекен» и «Дихан» Жамбылской области Республики Казахстан. Проведение работ проводилось в 2-х направлениях:

- лабораторные исследования водно-физических свойств почв солонцовых комплексов земель, динамики почвенной влаги при различных показателях плотности почвы;
- полевые производственные опыты в хозяйствах Жамбылской области с целью

разработки технологии глубокого рыхления солонцовых почв.

Технология глубокого рыхления почв как способа структурной мелиорации изучалась на опытных участках хозяйств «Туймекен» и «Дихан». Схема опытов следующая:

- районированная агротехника обработки почвы (контроль);
- глубокое рыхление на глубину 0,8...1 м на неорошаемом и на орошаемом участке.

Для орошаемых массивов Жамбылской области были изучены водно-физические и агрохимические свойства почв: содержание гумуса, валовое содержание азота, фосфора, калия; емкость поглощения, поглощенные основания. Исходя из показателей почв и различной степени засоленности была проведена оценка экологических коэффициентов, характеризующих различные уровни опасности почв (табл. 2).

Таблица 2

#### Экологические коэффициенты, характеризующие уровень опасности в расчетном слое почвы

| Показатели                                                                                                            | Степень засоленности почв |               |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------|---------------------|
|                                                                                                                       | Слабая                    | Средняя       | Сильная             |
| Площадь $F_{нт}$ , га                                                                                                 | 700                       | 700           | 700                 |
| Порозность, доли                                                                                                      | 0,47                      | 0,47          | 0,47                |
| Начальная минерализация $C_n$ , г/л                                                                                   | 2,7                       | 3,5           | 4,6                 |
| Плотность почвы $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>                                                                           | 1,47                      | 1,47          | 1,47                |
| Степень засоления $S_0$ , %                                                                                           | 0,49                      | 0,57          | 1,4                 |
| Остаток солей $\Delta S$ , т/га                                                                                       | 33                        | 31            | 62                  |
| Уровень грунтовых вод $h$ , м                                                                                         | 3,2                       | 3,2           | 3,2                 |
| Объем воды до уровня грунтовых вод $W$ , кг/га                                                                        | 15040                     | 15040         | 15040               |
| Промывная норма нетто $N_{нт}$ , м <sup>3</sup> /га                                                                   | 6000                      | 7000          | 8000                |
| Промывная норма брутто $N_{бр}$ , м <sup>3</sup> /га                                                                  | 7000                      | 8000          | 9000                |
| Запас солей в грунтовых водах $S$ , кг/га                                                                             | 40608                     | 52640         | 69184               |
| Допустимая минерализация в почвенном растворе $C_M = \Delta S + S/W + N_{бр}$ , г/л                                   | 3,3                       | 3,6           | 5,5                 |
| Приток воды из каналов $Q$ , м <sup>3</sup> /с                                                                        | 0,4                       | 0,4           | 0,4                 |
| Продолжительность промывки $t = N_{нт} \cdot F_{нт} / 86400 \cdot \eta \cdot Q$ , сут.                                | 146                       | 171           | 195                 |
| Доля объем транзитных вод сбрасываемых в реку в процессе промывки $V_T = N_{нт} \cdot F_{нт} / 86400 \cdot Q \cdot t$ | 0,83                      | 0,83          | 0,83                |
| Осадки промывного периода $P$ , м <sup>3</sup> /га                                                                    | 750                       | 870           | 1000                |
| Насыщение влагой в расчетном слое $W_H$ , м <sup>3</sup> /га                                                          | 3381                      | 3381          | 3381                |
| Испарение в процессе промывки $E_0$ , м <sup>3</sup> /га                                                              | 1000                      | 1000          | 1000                |
| Доля объема промывных вод, поступающих из КДС: $q_K = (N_{нт} + P - W_H - E_0) / N_{бр}$                              | 0,34                      | 0,44          | 0,51                |
| Тип химизма засоления, хлоридный (х)                                                                                  | х                         | х             | х                   |
| Экологический коэффициент $Э_k = 1 - \exp(-C_M \cdot V_T \cdot q_K)$                                                  | 0,61                      | 0,73          | 0,90                |
| Уровень опасности                                                                                                     | опасный                   | очень опасный | чрезвычайно опасный |

Анализ полученных расчетов показал, что количественная оценка экологической ситуации на орошаемых землях исследуемого региона свидетельствует о высоком уровне экологической опасности ( $\Theta_k = 0,61 \dots 0,90$ ), что требует разработки комплекса методов по улучшению эколого-мелиоративной ситуации в регионе.

Для экологической оценки деградации сероземно-луговых почв Жамбылской области была использована методика оценки картирования засоленных почв, что позволило составить карты деградированных почв по степени их засоления [4].

Современные научные достижения в экологии и биоэнергетике агроэкосистем позволяют на основе системного изучения и термодинамического подхода эколого-мелиоративных характеристик растений и энергетического состояния почв разработать методы достоверного количественного прогноза продуктивности по заданным экологическим факторам [5, 6, 7].

Данные по почвенно-экологическим условиям сероземно-луговых и темнокаштановых карбонатных почв явились основой регулирования водно-солевого режима корнеобитаемого слоя как главного фактора влаго- и солепереноса зоны аэрации почвогрунтов, который позволяет создать необходимые условия для улучшения почвообразовательного процесса и обеспечения возможности расширенного воспроизводства плодородия почв. Для этого необходимо сохранение автоморфного режима почвообразования, поддержание грунтовых вод на достаточно большой глубине для предупреждения вторичного засоления почв при минимальных затратах поливной воды. Основными методами восстановления деградированных орошаемых земель Жамбылской области являются промывки засоленных почв, задача которых состоит в том, чтобы добиться вымывания солей из корнеобитаемого слоя оросительной водой с минимальными ее затратами.

Одним из важных показателей состояния почвы в период промывки и развития растений является степень аэрации (воздухообеспеченность) почвы, которая достигается с применением глубокого рыхления, обеспечивающего вынос растворимых солей и доступ воздуха в корнеобитаемый слой почв. В составе технологии по восстановлению засоленных и осолонцованных уплотненных почв следует предусмотреть глубо-

кое рыхление (0,8...1,0 м) на фоне временного дренажа глубиной (0,8...1,0 м) и внесения химических мелиорантов.

**Результаты и обсуждение.** Основной целью исследований является разработка ресурсосберегающих технологии по рассолению и вымыванию солей из засоленных солонцовых почв на орошаемых землях Жамбылской области. Для обоснования промывных норм учитывались качество оросительной воды, вида сельскохозяйственных культур, число поливов, равномерность распределения воды при поливе, водопроницаемость почвенного слоя и дренированность изучаемого массива орошения.

При разработке эколого-мелиоративных мероприятий учитывались такие факторы, как проявление накопления токсичных веществ и последствия накопившихся вредных веществ в почвах. Соответственно для каждого вида полива и промывок были разработаны способы предупреждения накопления токсичных веществ в почвах.

При рассматриваемых видах полива необходимо было учитывать запасы влаги в корнеобитаемом слое и проводить высева определенных культур. Наибольший эффект предлагаемых мероприятий будет достигнут, если эколого-мелиоративные мероприятия проводить на фоне глубокого рыхления.

Для улучшения экологического состояния земель и эффективного использования водных ресурсов в орошаемых зонах были установлены суммарное водопотребление и общие промывные нормы по формулам [8]:

$$N_H = 100H \cdot \gamma \cdot \beta_{HB} \quad (1)$$

$$N_B = N_T \exp(-g \cdot \bar{R}), \quad (2)$$

Преобразовав формулы (1) и (2), получаем

$$N_{os} = 100H \gamma \cdot \beta_{HB} + N_T \exp(-g \cdot \bar{R}), \quad (3)$$

где  $N_{os}$  – общие промывные нормы, м<sup>3</sup>/га;  $H$  – расчетный слой почвы, м;  $N_H$  – насыщение воды, м<sup>3</sup>/га;  $\gamma$  – плотность почвы; т/м<sup>3</sup>;  $N_T$  – теплые воды для промывки, м<sup>3</sup>/га;  $\beta_{HB}$  – наименьшая влагоемкость почвы, %;  $N_B$  – нормы промывки для вытеснения солей из расчетного слоя, м<sup>3</sup>/га;  $g$  – интенсивность испарения в долях;  $\bar{R}$  – изменение показателя гидротермического режима под влиянием орошения или промывных норм ( $\bar{R} = R / [L(O_c + N_p)]$ );  $N_p$  – разовая норма промывки в зависимости от механического состава почвогрунтов, м<sup>3</sup>/га.

Технология проведения мелиоративных мероприятий заключается в следующем. Перед вспашкой поля в почву вносили фосфогипс (6...8 т/га) в сочетании с органическими удобрениями (15...20 т/га), затем производили вспашку поля на глубину 30...35 см плантажным плугом (ППН-40). Для обработки уплотненных слоев почвы проводили рыхление на глубину 60...70 см с использованием рыхлителя РН-80Б. Планировка поля производилась длиннобазовым планировщиком П-2,8. Устройство валиков промываемых чеков высотой 35...40 см проводилось с помощью валикоделателей КЗУ-0,3Д и нарезки временных оросителей-канавокопателей КЗУ-0,3 с прицепом ДТ-75; нарезка временного дренажа с глубиной 1,0...1,2 м – канавокопателем (МК-16) с трактором К-701.

Промывка производилась круглосуточно, а для обеспечения эффективности промывного полива промываемые участки разбивались на чеки, размер которых зависит от уклона спланированного поля и свойств почв. Площадь чеков составила от 0,125 до 1,0 га. Нарезаны временные дренажи на расстоянии от 25 до 50 м. Групповые временные дренажи построены с расстояниями 200...300 м. Чеки заполнялись водой до создания поверхностного слоя высотой 10...12 см.

Промывку начинали с середины междренья и двигались к дренам. Вода из временного оросителя подавалась самостоятельно в каждый чек. Интервалы между двумя разовыми поливами для

легких суглинистых почв при разовой норме 800...1000 м<sup>3</sup>/га и размерах чеков 0,125...0,5 га составляли 3...4 дня; для среднесуглинистых почв – 5-6 дней; для тяжело-суглинистых почв – 7-8 дней [8].

Практика показывает, что вспашка с глубоким рыхлением существенно ускоряет промывной сезон в 2,5-3 раза и сохраняет плодородие почвы от выноса всяких минеральных и органических веществ кроме того, способствует быстрому движению растворимых концентраций вредных солей в расчетном слое. При этом сохраняется плодородие почвы, улучшаются водно-физические свойства почв. Следовательно, для регулирования водно-солевого и пищевого режимов при сохранении и восстановлении плодородия почв наиболее эффективным средством является глубокое рыхление почв на экологически неблагоприятных землях.

Глубокое рыхление и временный дренаж являются эффективным средством для выноса солей из гипсоносных и тяжелосуглинистых солончаковых почв. В хозяйствах «Туймекен» и «Дихан» Жамбылской области промывки на сероземно-луговых среднесуглинистых почвах проводились нормой 5...6 тыс. м<sup>3</sup>/га.

Основные характеристики почв и мелиоративных воздействий для исследуемой территории приведены в таблице 3.

Как следует из таблицы 3, общие промывные нормы для гипсоносных почв исследуемой территории изменялись от 6830 до 10722 м<sup>3</sup>/га в зависимости от типа почв по мехсоставу.

Таблица 3

### Определение промывной нормы метрового слоя почв

| Характеристики почв и мелиоративных воздействий           | Тип почв по механическому составу |         |         |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------|---------|
|                                                           | легкие                            | средние | тяжелые |
| Плотность $\gamma$ , т/га                                 | 1,37                              | 1,46    | 1,55    |
| Наименьшая влагоемкость $\beta$ , %                       | 16                                | 23      | 28      |
| Нормы насыщения $N_n$ , м <sup>3</sup> /га                | 2200                              | 3360    | 4300    |
| Разовые промывные нормы $N_p$ , м <sup>3</sup> /га        | 800                               | 1000    | 1200    |
| Количество атмосферных осадков $O_c$ , м <sup>3</sup> /га | 230                               | 250     | 260     |
| Суммы температур $\Sigma T$ , С°                          | 3200                              | 2900    | 2700    |
| Интенсивность испарения в долях, $g$                      | 0,12                              | 0,15    | 0,20    |
| Гидротермический коэффициент, $R$                         | 0,64                              | 0,50    | 0,41    |
| Объем теплых вод для промывки $N_t$ , м <sup>3</sup> /га  | 4630                              | 5550    | 6422    |
| Общие промывные нормы $N_{об}$ , м <sup>3</sup> /га       | 6830                              | 8910    | 10722   |

### Выводы

На основе изучения водно-физических свойств сероземно-луговых засоленных и солонцовых почв орошаемых массивов Жамбылской области была проведена количе-

ственная оценка экологической ситуации, которую можно оценить как очень опасную и чрезвычайно опасную.

Для восстановления деградированных сероземно-луговых засоленных и солонцо-



вых почв на орошаемых массивах Жамбылской области разработаны методы по улучшению эколого-мелиоративных условий на фоне глубокого рыхления. Для изучения гидрохимического режима почв использованы дифференциальные формулы переноса солей и влаги, на основе которых установлены суммарное водопотребление и оптимальные промывные нормы для засоленных почв.

Разработана технология проведения мелиоративных мероприятий на орошаемых массивах, основные этапы которой сводятся к тому, что на фоне промывок перед вспашкой поля в почву вносится фосфогипс (6...8 т/га) в сочетании с органическими удобрениями (15...20 т/га), проводится вспашка поля на глубину 30...35 см, для обработки уплотненных слоев почвы проводится глубокое рыхление на глубину 60...70 см.

### Библиографический список

1. Карпенко Н.П., Сейтказиев А.С., Маймакова А.К. Экологическая оценка деградации сероземно-луговых почв Жамбылской области // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 12(54). С. 132-135.
2. Сейтказиев А.С., Буданцев К.Л. Моделирование водно-солевого режима почв на засоленных землях // Межвузовский сборник научных трудов. М., 2002. С. 72-79.
3. Seitkazyev Adeubai, Shilibek Kenzhegali, Salybaiev Satipalde, Seitkazyeva Karlygash. The Research of the Ground Water Supply Process on Irrigated Soils at Various Flushing Technologies // World Applied Journal. 2013. Vol. 26(9). P. 1168-1173.
4. Карпенко Н.П. Методы оценки и картирования засоленных почв и почвенного покрова // Материалы III съезда Докучаев-

ского общества почвоведов. Суздаль, 2000. С. 221-222.

5. Сейтказиев А.С., Мусаев А.И. Методы улучшения продуктивности засоленных земель // Гидрометеорология и экология. 2010. № 3. С. 163-173.

6. Кирейчева Л.В., Карпенко Н.П. Оценка эффективности оросительных комплексных мелиораций в зональном ряду почв // Почвоведение. 2015. № 5. С. 587-596.

7. Kireicheva L.V., Karpenko N.P. Evaluation of the Efficiency of Irrigation in a Zonal Soil Sequence // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. № 5. P. 524-532.

8. Сейтказиев А.С., Тайчибеков А., Сейтказиева К.А. Methods of Salt and Alkaline Soils Improvement in Zhambylsk Region // European Researcher. 2013. Vol. (64). № 12-1. P. 2768-2773.

Материал поступил в редакцию 26.12.2016 г.

### Сведения об авторах

**Карпенко Нина Петровна**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: npkarpenko@yandex.ru; тел.: 8(499)976-22-27.

**Сейтказиев Адеубай Садакбайулы**, доктор технических наук, профессор; ТарГУ, Республика Казахстан. 010000, Республика Казахстан, Тараз, ул. Толе би, 60; e-mail: adeubai@mail.ru; тел.: 8 (702) 615-12-79.

**Маймакова Алия Камзабековна**, докторант PhD, ТарГУ, Республика Казахстан. 010000, Республика Казахстан, Тараз, ул. Толе би, 60; e-mail: aliusha.86@mail.ru; тел.: 8 (775) 818-00-16.

### N.P. KARPENKO

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

### A.S. SEITKAZIEV, A.K. MAJMAKOVA

Taraz state university named after M.Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan

## REGULATION OF WATER-SALINE REGIME OF SOILS ON SALINE LANDS OF THE ECONOMIES «TUJMEKEN» AND «DIKHAN» OF THE JAMBYL REGION

*The main objective of researches is connected with development of methods of regulation of the water-saline regime of the degraded salted sierozemic and meadow soils of the Jambyl region and ecologo-meliorative actions for their improvement of their meliorative state and restoration of the productional potential. On the basis of studying water physical properties of the sierozemic and meadow salted and solonetzic soils of the irrigated massifs of the Jambyl region the quantitative assessment of the ecological situation which can be estimated as very*

*dangerous and extremely dangerous has been carried out. The practical result of the executed researches is the complex of researches on studying water and physical and agrochemical properties of soils (the maintenance of a humus, gross content of nitrogen, phosphorus, potassium; absorption capacity, the absorbed bases, a water extract, salinity, etc.), on the basis of which the assessment of the ecological coefficients characterizing various levels of the ecological danger of the sierozemic and meadow salted and solonetzic soils of the irrigated massifs of the Jambyl region has been carried out. On the basis of water and physical and agrochemical properties of soils methods and technologies for improvement of ekologo-meliorative conditions of the salted and solonetzic soils of the irrigated massifs of farms of Tujmeken and Dikhan of the Jambyl region with use of deep loosening as way of structural melioration have been developed. When developing resource-saving technologies for a rassoleniye and washing away of salts for this region optimum washing norms for the saline carbonate soils depending on mechanical structure of soils which application will allow to restore their productional potential are defined and to receive the guaranteed harvests of crops in this territory.*

*Saline soils, soil-forming process, degradation, fertility, water-salt regime, irrigation, irrigation norms.*

### References

1. Karpenko N. P., Seitkazyev A.S., Maimakova A.K. *Ecologicheskaya otsenka degradatsii serozemno-lugovykh pochv Jambyl'skoj oblasti // Mezhdunarodny nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2016. № 12(54). S. 132-135.
2. Seitkazyev A. S., Budantsev K.L. *Modelirovanie vodno-solevogo rezhima pochv na zasolennykh zemlyakh // Mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh trudov*. M., 2002. S. 72-79.
3. Seitkazyev Adeubai, Shilibek Kenzhegali, Salybaiev Satipalde, Seitkazyeva Karlygash. *The Research of the Ground Water Supply Process on Irrigated Soils at Various Flushing Technologies // World Applied Journal*. 2013. Vol. 26(9). P. 1168-1173.
4. Karpenko N.P. *Metody otsenki i kartirovaniya zasolennykh pochv i pochvennogo pokrova // Materialy III sjezda Dokuchaevskogo obshchestva pochvovedov*. Suzdal, 2000. S. 221-222.
5. Seitkazyev A. S., Musaev A.I. *Metody uluchsheniya produktivnosti zasolennykh zemel // Hydrometeorologiya i ekologiya*. 2010. № 3. S. 163-173.
6. Kireicheva L. V., Karpenko N.P. *Otsenka effektivnosti orositel'nykh kompleksnykh melioratsij v zonal'nom ryadu pochv // Pochvovedenie*. 2015. № 5. S. 587-596.
7. Kireicheva L.V., Karpenko N.P. *Evaluation of the Efficiency of Irrigation in a Zonal Soil Sequence // Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48. № 5. P. 524-532.
8. Seitkazyev A.S., Tajchibekov A., Seitkazyeva K.A. *Methods of Salt and Alkaline Soils Improvement in Zhambylsk Region // European Researcher*. 2013. Vol. (64). № 12-1. P. 2768-2773.

The material was received at the editorial office  
26.12.2016

### Information about the authors

**Karpenko Nina Petrovna**, doctor of technical sciences, associate professor, professor of the chair of hydrology, hydrogeology and flow regulation, FSBEI HE «RGU-MAA named after C.A. Timiryazev»; 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d. 49; e-mail: npkarpenko@yandex.ru; tel.: 8(499)976-22-27.

**Seitkaziev Adeubaj Sadakbajuly**, doctor of technical sciences, professor; TarGU, Republic of Kazakhstan. 010000, Republic of Kazakhstan, Taraz, ul.Tole bi, 60; e-mail: adeubai@mail.ru; тел.: 8 (702) 615-12-79.

**Majmakova Aliya Kamzabekovna**, doctoral candidate PhD, TarGU, Republic of Kazakhstan. 010000, Republic of Kazakhstan, Taraz, ul.Tole bi, 60; e-mail, 60; e-mail: aliusha.86@mail.ru; тел.: 8 (775) 818-00-16.

УДК 502/504: 63:342.95:349.41

**Л.А. БИТКОВА**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация**НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И ДОКАЗЫВАНИЯ  
ПОРЧИ ЗЕМЕЛЬ**

*В современных условиях необходимость рационального и эффективного использования земель сельскохозяйственного назначения предопределена особой ролью данного направления деятельности в рамках устойчивого социально-экономического развития нашей страны, что, в свою очередь, предполагает не только обеспечение продовольственной безопасности, но и повышение качества жизни населения. В процессе реализации государственной политики по охране и защите земельных правоотношений особое значение приобретает правильное, основанное на законе применение мер административной ответственности к физическим и юридическим лицам, нарушающим основополагающие принципы использования земли, основы жизни и деятельности народов, проживающих на соответствующей территории. В связи с имеющимися в правоприменительной практике проблемами выявления и доказывания порчи земель в статье на основе анализа нормативных правовых актов и теоретико-правовых позиций рассмотрены особенности объективной стороны административного правонарушения, предусмотренного ст. 8.6 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях «Порча земель», определены квалифицирующие признаки противоправных деяний. Выявлены основные факторы, негативно влияющие на реализацию института административной ответственности за порчу земель.*

*Административная ответственность, порча земель, правоприменительная практика, доказательства по делу об административном правонарушении, законодательство.*

**Введение.** Установленный ст. 9 Конституции РФ принцип использования и охраны земли как основы жизни и деятельности народов, проживающих на соответствующей территории, находит свою дальнейшую детализацию в различных отраслях права. Так, ст. 1 Земельного кодекса Российской Федерации (далее – ЗК РФ) [1] закрепляет приоритет охраны земли как важнейшего компонента окружающей среды и средства производства в сельском хозяйстве и лесном хозяйстве перед использованием земли в качестве недвижимого имущества, согласно которому владение, пользование и распоряжение землей осуществляются собственниками земельных участков свободно, если это не наносит ущерб окружающей среде.

Одним из действенных механизмов защиты земельных правоотношений является институт административной ответственности, нормы которого содержатся в Кодексе Российской Федерации об административных правонарушениях (далее – КоАП РФ) [2], а также в принимаемых в соответствии с ним законов субъектов Российской Федерации об административных правонарушениях.

**Постановка проблемы,  
её оценка в науке  
и в судебной практике**

КоАП РФ предусматривает ст. 8.6 «Порча земель», целью которой является обеспечение административно-правовыми средствами охраны земли от ухудшения ее качественного состояния. В качестве административных наказаний предусмотрены административный штраф для физических и юридических лиц, а также административное приостановление деятельности до 90 суток для юридических лиц.

Следует отметить, что на основании ст. 6 ЗК РФ, как объект правовой охраны, земля охватывает все виды земельных участков независимо от форм собственности, характера владения, степени освоенности и использования человеком для удовлетворения своих потребностей. Кроме того, составы в данной статье сформулированы таким образом, что предметом посягательства могут быть любые земли, а не только земли сельскохозяйственного назначения, поскольку нет указания именно на земли сельскохозяйственного назначения, а их порча наступает в результате нарушения правил обращения не только с пестицидами и агрохимикатами, но и с дру-

гими опасными веществами. Следовательно, это земли и других категорий, выделенных по целевому назначению по ст. 7 ЗК РФ: населенных пунктов; промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, земли обороны, безопасности и земли иного специального назначения; земли особо охраняемых территорий и объектов; земли лесного фонда; земли водного фонда; земли запаса.

Однако и в теории права, и в правоприменительной и судебной практике возникает много вопросов, связанных с правильным выявлением и фиксацией доказательств по делам о порче земель как административном правонарушении и уголовном преступлении. Так, по данным Россельхознадзора России [3], в 2015 г. по ч. 1 ст. 8.6 КоАП РФ выявлено 2241 административное правонарушение (в 2013 г. – 1307, в 2014 г. – 1649), а по ч. 2 ст. 8.6 КоАП РФ выявлено 1344 административных правонарушения (в 2013 г. – 1038, в 2014 г. – 769). Однако представленные данные отражают ситуацию не в полной мере, поскольку выявлением этих правонарушений занимаются и другие органы исполнительной власти.

При решении возникающих вопросов мы сталкиваемся в первую очередь с проблемой отсутствия современной систематизированной нормативной базы, регламентирующей деятельность хозяйствующих субъектов по сохранению плодородия почв. Действующие ГОСТы СССР содержат ряд нормативных понятий – таких, как «плодородный слой почвы», «нарушение земель», «снятие плодородного слоя почвы» [4] и т.п., но эти понятия не нашли отражения в законодательных актах Российской Федерации. Исключение составляет Федеральный закон от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения», который разъясняет содержание термина «плодородие земель сельскохозяйственного назначения» как способность почвы удовлетворять потребность сельскохозяйственных культурных растений в питательных веществах, воздухе, воде, тепле, биологической и физико-химической среде и обеспечивать урожай сельскохозяйственных культурных растений. Следовательно, предметом данного правонарушения является часть почвы, которая обладает, в том числе, указанной способностью.

Объективную сторону административного правонарушения по ст. 8.6 КоАП РФ следует оценивать, исходя из положений ст. 13 ЗК РФ, в соответствии с которыми в целях охраны земель собственники земельных участков, землепользователи, землевладельцы и арендаторы земельных участков обязаны проводить мероприятия 1) по воспроизводству плодородия земель сельскохозяйственного назначения; 2) по защите земель от водной и ветровой эрозии, селей, подтопления, заболачивания, вторичного засоления, иссушения, уплотнения, загрязнения химическими веществами, в том числе радиоактивными, иными веществами и микроорганизмами, загрязнения отходами производства и потребления и другого негативного воздействия; 3) по защите сельскохозяйственных угодий от зарастания деревьями и кустарниками, сорными растениями, сохранению достигнутого уровня мелиорации. Основными мероприятиями по предотвращению ухудшения качества земель выступают их рекультивация [5] или консервация [6].

В соответствии с п. 11 Приказа Минприроды РФ и Роскомзема от 22 декабря 1995 г. № 525/67 внутрихозяйственные работы, связанные с нарушением почвенного покрова, осуществляются на основании разрешения в порядке, устанавливаемом соответствующими органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации [7]. Поэтому самовольное снятие плодородного слоя почвы означает его отделение от поверхности земли без соответствующего разрешения, а самовольное перемещение плодородного слоя почвы – это осуществленное без надлежащего разрешения изменение пространственного расположения плодородного слоя почвы. Объективную сторону рассматриваемого правонарушения образует деяние в виде действий по вывозу, выносу за пределы участка, переносу для использования на другом земельном участке, в целях облегчения доступа к запасам полезных, в том числе общераспространенных, ископаемых, в ходе строительства – для освобождения площадок и т.п. плодородного слоя почвы. При этом способы действий (вручную, транспортом и т.п.) для квалификации деяния значения не имеют. Таким образом, указанные составы административных правонарушений являются формальными, т.е. для реализации административного наказания важно установить факт снятия или



перемещения плодородного слоя почвы и отсутствие на это разрешений.

Актуальным остается нормативное установление и закрепление на федеральном уровне качественных характеристик понятия «уничтожение плодородного слоя почвы» (по ч. 2 ст. 8.6 КоАП РФ), тогда как судебная практика исходит из того, что это деяние – в виде таких действий, как насыпка поверх плодородного слоя почвы другого грунта, залив бетоном, асфальтом, приведение в негодность при заготовке древесины и т.п. Уничтожение плодородного слоя почвы может быть следствием механического воздействия: например, сноса плодородного слоя при строительстве, прокладке дорог; невыполнения мероприятий по рекультивации земель, проезда тяжелого транспорта и т.п. В данном случае для квалификации данного деяния имеют значение наступившие вредные последствия и способы уничтожения – это материальный состав.

Порча земель в результате нарушения правил обращения с пестицидами или агрохимикатами или иными опасными для здоровья людей и окружающей среды веществами и отходами производства и потребления – это материальный состав, являющийся специальным по отношению к составам ст.ст. 8.2 и 8.3 КоАП РФ. В этом случае порча земель представляет собой действия (бездействие), приводящие как к частичному или полному разрушению плодородного слоя в результате умышленных или неосторожных действий, так и к частичной утрате плодородного слоя или ухудшению его физических, химических или биологических свойств, а также снижению природно-хозяйственной ценности земель.

В ч. 2 ст. 8.6 КоАП РФ указаны способы порчи земель в результате нарушения правил обращения: а) с пестицидами и агрохимикатами; б) с иными опасными веществами; в) с отходами производства и потребления.

Анализ положений КоАП РФ, а также правоприменительной практики позволяет говорить о необходимости и целесообразности использования криминалистических методов выявления доказательств о порче земель, т.к. это позволит разграничить смежные составы правонарушений, предусмотренных ст. 8.6 КоАП РФ и ст. 254 Уголовного кодекса РФ (УК РФ).

Подтверждением причиненного вреда земельным участкам может являться топо-

графическая съемка земельного участка, фото-, видеоматериалы, земельная экспертиза, акт обследования земельного участка, акт проверки и т.д.

Требования к отбору проб почвы предусмотрены ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб», ГОСТ 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа», ГОСТ 28168-89 «Почвы. Отбор проб». Ими активно руководствуются должностные лица органов, осуществляющих выявление административных правонарушений по ст. 8.6 (Росприроднадзор, Россельхознадзор и др.), однако процессуальные действия нередко обжалуются лицами, привлекаемыми к административной ответственности, в суд.

Интересным и перспективным представляется опыт выявления нарушенных нефтедобычей земель на основе спутниковых данных [8], однако здесь следует иметь в виду положения ст. 26.8 КоАП РФ, содержащее обязательное требование к специальным техническим средствам: наличие сертификата и прохождение метрологической поверки.

### Выводы

Несмотря на тенденцию увеличения выявленных административных правонарушений по ст. 8.6 КоАП РФ, следует определить негативные факторы, влияющие на реализацию института административной ответственности в правоприменительной деятельности: а) отсутствие единого подхода к разработке понятийного аппарата о порче земель и современного, основанного на положениях международных правовых актов, систематизированного законодательства, регулирующего вопросы обеспечения плодородия всех категорий земель; б) низкую активность должностных лиц, осуществляющих государственный земельный надзор и муниципальный земельный контроль, вследствие недостаточной профессиональной, в том числе криминалистической, подготовки управленческих кадров; в) пренебрежение, а иногда и игнорирование юридической техники оформления процессуальных документов, сбора и фиксации доказательств по делу, что приводит к отмене принимаемых административных актов судами [9]; г) неоднозначную судебную прак-

тику, недостаточное применение судами административного приостановления в качестве административного наказания по ч. 2 ст. 8.6 КоАП РФ

### Библиографический список

1. Земельный кодекс Российской Федерации от 25 октября 2001 г. № 136-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации от 29 октября 2001 г. № 44. Ст. 4147. <http://base.garant.ru/12124624/>. Дата обращения – 15.04.2017 г.
2. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30 декабря 2001 г. № 195-ФЗ // Российская газета. 2001. № 256. 31 декабря. <http://base.garant.ru/12125267/>. Дата обращения – 15.04.2017 г.
3. Итоговый доклад Россельхознадзора за 2015 год. <http://www.fsvps.ru/fsvps-docs/ru/ground/doklad2015.pdf>. Дата обращения – 15.04.2017 г.
4. ГОСТ 17.5.1.01-83 – Охрана природы (ССОП). Рекультивация земель. Термины и определения; ГОСТ 17.4.1.02-83 – Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения; ГОСТ 17.4.3.02-85 – Охрана природы. Почвы. Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ; ГОСТ 17.5.3.06-85 – Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ // СПС Консультант Плюс. Документы. Дата обращения – 14.04.2017 г.
5. Постановление Правительства РФ от 23 февраля 1994 г. № 140 «О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы»;

Приказ Минприроды РФ и Роскомзема от 22 декабря 1995 г. № 525/67 «Об утверждении Основных положений о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы» // СПС Консультант Плюс. Документы. Дата обращения – 15.04.2017 г.

6. Постановление Правительства РФ от 2 октября 2002 г. № 830 «Об утверждении Положения о порядке консервации земель с изъятием их из оборота».

7. Постановление Совета Министров Республики Крым от 12 октября 2015 г. № 607 «Об утверждении Порядка проведения рекультивации нарушенных земель на территории Республики Крым» // СПС Консультант Плюс. Документы. Дата обращения – 15.04.2017 г.

8. Мячина К.В., Чибилёв А.А. Выявление нарушенных нефтедобычей степных земель Оренбургского Заволжья на основе спутниковых данных // География и природные ресурсы. 2015. № 4. С. 135-141.

9. Решение по делу 12-26/2017 (27.03.2017, Слободской районный суд (Кировская область)); Решение по делу 5-36/2017 (30.03.2017, Приволжский районный суд (Астраханская область)) // <https://rospravosudie.com/law>. Дата обращения – 15.04.2017 г.

Материал поступил в редакцию 15.04.2017 г.

### Сведения об авторе

**Биткова Людмила Алексеевна**, кандидат юридических наук, доцент, заведующий кафедрой правоведения Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: (499) 976-47-91; e-mail: ludabit@gmail.com

### L.A. BITKOVA

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

## SOME PROBLEMS OF IDENTIFICATION AND PROOF OF LAND SPOILING

*Under modern conditions the need for rational and effective use of agricultural land is predetermined by the special role of this area of activity within the framework of sustainable social and economic development of our country, which in turn involves not only ensuring food security but also improving the quality of life of the population. In the process of implementing the state policy for the protection and protection of land legal relations, the correct application of measures of administrative responsibility to individuals and legal entities violating the fundamental principles of the use of land for the basis of life and activities of peoples living in the corresponding territory acquires special importance based on the law. In connection with the problems of revealing and proving the damage of lands in the law enforcement practice in this article, on the basis*

*of an analysis of normative legal acts and theoretical and legal positions, the peculiarities of the objective side of an administrative offense under Art. 8.6 of the Code of Administrative Offenses of the Russian Federation «Damage of Land», the qualifying signs of unlawful acts have been determined. The main factors that negatively influence the implementation of the institution of administrative responsibility for damage to lands have been identified.*

*Administrative responsibility, land spoiling, law application practice, evidence on the administrative offense case, legislation.*

### References

1. Zemel'nyj kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 25 oktyabrya 2001 g. № 136-FZ // Sobraniye zakonodatel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 29 oktyabrya 2001 g. № 44. St. 4147. <http://base.garant.ru/12124624/>. Data obrashcheniya – 15.04.2017 g.
2. Kodeks Rossiyskoy Federatsii ob administrativnykh pravonarusheniyakh ot 30 dekabrya 2001 g. № 195-FZ // «Rossiyskaya gazeta» ot 31 dekabrya 2001 g. № 256. <http://base.garant.ru/12125267/>. Data obrashcheniya – 15.04.2017 g.
3. Itogovyy doklad Rosselkhoz nadzora za 2015 god. <http://www.fsvps.ru/fsvps-docs/ru/ground/doklad2015.pdf>. Data obrashcheniya – 15.04.2017 g.
4. GOST 17.5.1.01-83 Okhrana prirody (SSOP). Rekul'tivatsiya zemel'. Terminy i opredeleniya; GOST 17.4.1.02-83 Okhrana prirody. Pochvy. Klassifikatsiya khimicheskikh veshchestv dlya kontrolya zagryazneniya; GOST 17.4.3.02-85 Okhrana prirody. Pochvy. Trebovaniya k okhrane plodorodnogo sloya pochvy pri proizvodstve zemlyanykh rabot; GOST 17.5.3.06-85 Okhrana prirody. Zemli. Trebovaniya k opredeleniyu norm snyatiya plodorodnogo sloya pochvy pri proizvodstve zemlyanykh rabot // SPS Konsul'tant Plyus. Dokumenty. Data obrashcheniya – 14.04.2017 g.
5. Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 23 fevralya 1994 g. № 140. «O rekul'tivatsii zemel', snyatii, sokhraneni i ratsional'nom ispol'zovanii plodorodnogo sloya pochvy»; Prikaz Minprirody RF i Roskomzema ot 22 dekabrya 1995 g. № 525/67 «Ob utverzhdenii Osnovnykh polozheniy o rekul'tivatsii zemel', snyatii, sokhraneni i ratsional'nom ispol'zovanii plodorodnogo sloya pochvy» // SPS Konsul'tant Plyus. Dokumenty. Data obrashcheniya – 15.04.2017 g.
6. Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 2 oktyabrya 2002 g. № 830 «Ob utverzhdenii Polozheniya o poryadke konservatsii zemel' iz'yatiyem ikh iz oborota».
7. Postanovleniye Soveta Ministrov Respubliki Krym ot 12 oktyabrya 2015 g. № 607 «Ob utverzhdenii Poryadka provedeniya rekul'tivatsii narushennykh zemel' na territorii Respubliki Krym» // SPS Konsul'tant Plyus. Dokumenty. Data obrashcheniya – 15.04.2017 g.
8. Myachina K.V., Chibilov A.A. Vyyavleniye narushennykh neftedobychey stepnykh zemel' Orenburgskogo Zavolzh'ya na osnove sputnikovyykh dannyykh // Geografiya i prirodnyye resursy. 2015. № 4. S. 135-141.
9. Resheniye po delu 12-26/2017 (27.03.2017, Slobodskoy rayonnyy sud (Kirovskaya oblast')); Resheniye po delu 5-36/2017 (30.03.2017, Privolzhskiy rayonnyy sud (Astrakhanskaya oblast')) // <https://rospravosudie.com/law>. Data obrashcheniya – 15.04.2017 g.

The material was received at the editorial office  
15.04.2017

### Information about the authors

**Bitkova Ludmila Alekseevna**, Candidate of Law, Senior Lecturer, Head of the Department of Law, FSBEI HE «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d. 49; tel.: (499) 976-47-91; e-mail: ludabit@gmail.com

УДК 502/504:628.04.08

**И.А. СОЛОМИН, В.И. АФАНАСЬЕВА**

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

## **СОСТАВ И СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ**

*Информация и данные о составе и свойствах твердых коммунальных отходов (ТКО) имеют важное значение при выборе метода сбора, транспортирования, эксплуатации оборудования и сооружений, при оценке целесообразности получения ресурсов и энергии из отходов при проектировании. Выбору технологии обращения с ТКО должно предшествовать исследование морфологического состава отходов, которое позволяет определить целесообразность применения того или иного метода утилизации и оценить процент извлечения вторичного сырья. Современные концепции обращения с отходами, как правило, базируются на максимальном использовании ресурсного потенциала компонентов, входящих в состав ТКО.*

*Объективным пределом эффективности отдельного сбора отходов, характеризуемой процентом отбора вторичного сырья, является фактическое содержание полезных компонентов в отходах. По удельной теплоте сгорания ТКО можно судить о целесообразности переработки их сжиганием. При выборе метода переработки ТКО методом аэробного компостирования необходимо предварительно оценить прогнозируемые агрохимические показатели получаемого компоста. Свойства отходов (отношение пропорций количество содержания в отходах разлагаемых и неразлагаемых компонентов, содержание влаги, вид биоразлагаемых компонентов), размещенных на полигоне ТКО, будут влиять на образование биогаза и фильтрата. Состав отходов будет определять как объемы образования биогаза, так и состав его компонентов. При проектировании установок для прессования отходов или послойного их уплотнения на полигонах необходимо знать степень их уплотняемости в зависимости от создаваемого давления. В статье проанализированы состав и свойства ТКО различных стран, также приведены технические методы обращения с отходами с учетом международного опыта.*

*Твердые коммунальные отходы, отдельный сбор отходов, переработка вторичного сырья, термические способы обезвреживания ТКО, методы аэробного компостирования ТКО, полигон ТКО.*

**Введение.** В соответствии с международными нормами иерархия в области экологически безопасного и ресурсосберегающего обращения с отходами устанавливает приоритет того, что в экологическом аспекте рассматривается вариант, наилучший с правовой и политической точек зрения применительно к обращению с отходами на этапах их технологического цикла. Иерархический порядок обращения с отходами строится следующим образом[1]:

- предотвращение образования отходов;
- повторное использование отходов;
- переработка отходов в качестве вторичных материальных ресурсов;
- компостирование;
- другие методы утилизации и обезвреживания отходов – например, сжигание в энергетических целях,

- размещение не утилизируемых отходов на полигонах;

- сжигание без получения энергии.

Иерархический порядок ранжирует способы обращения с отходами в соответствии с вариантами их приемлемости для защиты окружающей среды и здоровья людей. Построение систем обращения с отходами не может быть основано на управлении потоком образования отходов только на стадии переработки. Таким образом, система управления отходами в целом движется к более интегрированным подходам решения вопроса.

При разработке технических методов управления отходами все этапы жизненного цикла отходов должны быть увязаны между собой: от методов сбора до методов утилизации. Одной из первоочередных задач становится создание комплексных



систем управления отходами. Основа концепции комплексного управления отходами заключается в том, что отходы состоят из различных компонентов, которые в идеале не должны смешиваться и должны утилизироваться отдельно друг от друга наиболее экономичными и экологическими способами.

Выбор процессов обращения с ТКО в период от его появления и до окончания его существования, включая стадии сбора, сортировки, транспортирования, утилизации, захоронения, во многом зависит от характеристик и свойств ТКО. Так, выбор системы сбора транспортирования ТКО зависит от целого ряда факторов: информации о количестве и составе, сезонной и пиковой неравномерности образования отходов, изменения свойств (периодические) в зависимости от климата, роста или снижения потребления отдельных видов продуктов. Эти данные необходимы не только для централизованного сбора и транспортировки отходов, но и для обеспечения их максимального объема экологически безопасной переработки и обезвреживания, что обеспечивается на начальных стадиях по обращению с отходами: селективный сбор, предварительная подготовка отходов для последующей переработки.

Таким образом, при разработке технических методов в системе управления отходами нужно получить следующие данные, необходимые как в начале организации системы управления отходами, так и для дальнейшей её реализации:

1. Отходы какого вида и в каком количестве будут образовываться.
2. Темп ежегодного изменения объема ТКО.
3. Материалы какого вида и в каком количестве можно будет утилизировать.
4. Какими будут свойства обрабатываемых отходов.
5. Как эти свойства будут меняться во времени.
6. Как эти свойства повлияют на процессы обработки отходов.
7. Какие свойства отходов определяют их экономическую стоимость.

Результаты и обсуждение. Свойства и характеристика ТКО, включая плотность, влагосодержание, воспламеняемость, способность к переработке, и наличие опасных отходов в составе муници-

пальных твердых отходах тесно связаны с городскими особенностями (характеристиками) – такими, как количество, плотность населения и развитие городской инфраструктуры.

Информация о составе ТКО необходима для выбора способа хранения; способа сбора; частоты вывоза; материального и энергетического потенциала отходов для целей переработки, повторного использования и утилизации; выбора метода утилизации

Условия образования отходов определяют количество ТКО, их морфологический состав. Ввиду того, что свойства и характеристики ТКО со временем претерпевают изменения, принятие решений в области систем управления твердыми коммунальными отходами во многом зависит от прогнозируемых объемов образования и состава ТКО.

Одним из наиболее сложно устанавливаемых показателей роста накопления является темп ежегодного изменения объема ТКО. Скорость образования объемов ТКО зависит от увеличения численности населения и его жизненного уровня – нормы накопления ТКО [2] (рис. 1). Нормы накопления ТКО постоянно изменяются, отражая состояние снабжения населения товарами, и в то же время они в значительной мере зависят от местных условий. Для сравнения приведем такие данные: США производит около 770 кг/год на душу населения (самый высокий показатель в мире); Индия, представитель развивающихся стран, – 150-200 кг/год (данные 2003 г.).

До недавнего времени нормы накопления ТКО изменялись в большую сторону, и при расчете объема образования отходов учитывалась тенденция ежегодного роста на 1-3% нормы накопления [3]. Практически во всех странах в период с 1995 по 2003 гг. наблюдался рост образования ТКО как в общих объемах, так и на душу населения (норма накопления).

На рисунке 2 представлена эта тенденция для ЕС 25 с постоянным увеличением (1995-2003 гг.).

В настоящее время ситуация стабилизировалась, и даже наблюдается снижение как объемов образования ТКО, так и норм накопления [4] (рис. 3).

Такую же тенденцию можно наблюдать с ТКО в США [5] (рис. 4).

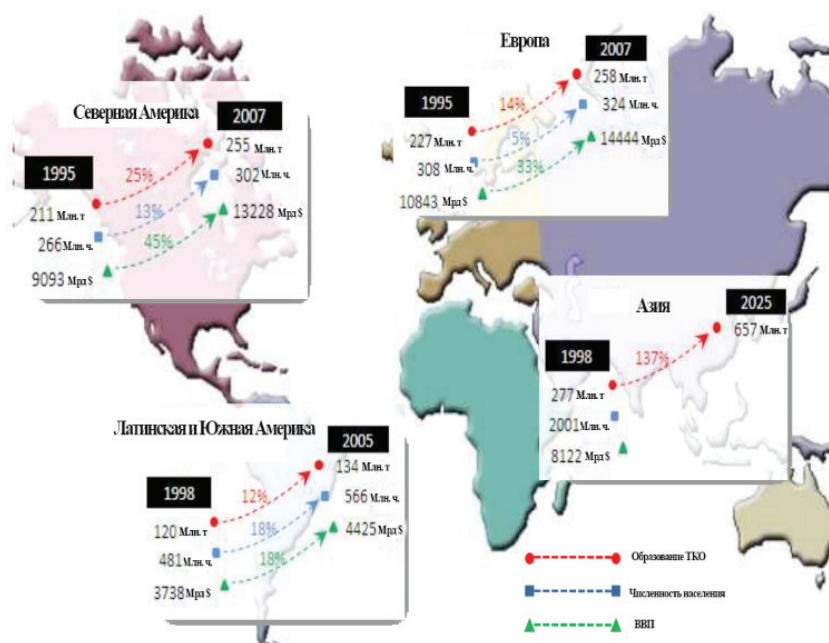


Рис. 1. Корреляция между объемами образования ТКО, численностью населения и внутренним валовым продуктом (ВВП)

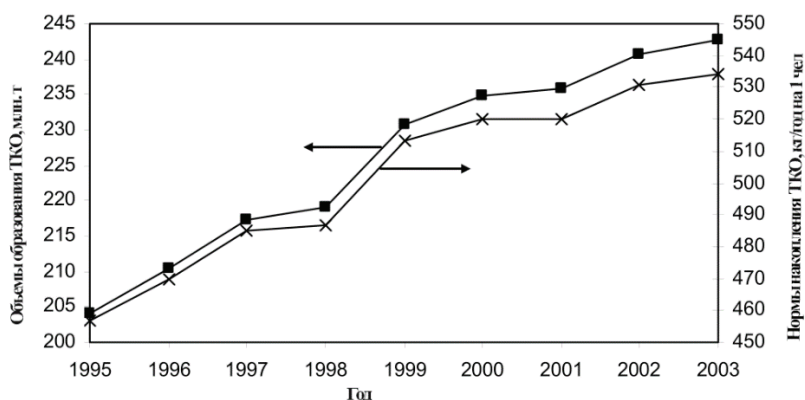


Рис. 2. Образование ТКО в странах ЕС 25 (Источник: Eurostat 2006)

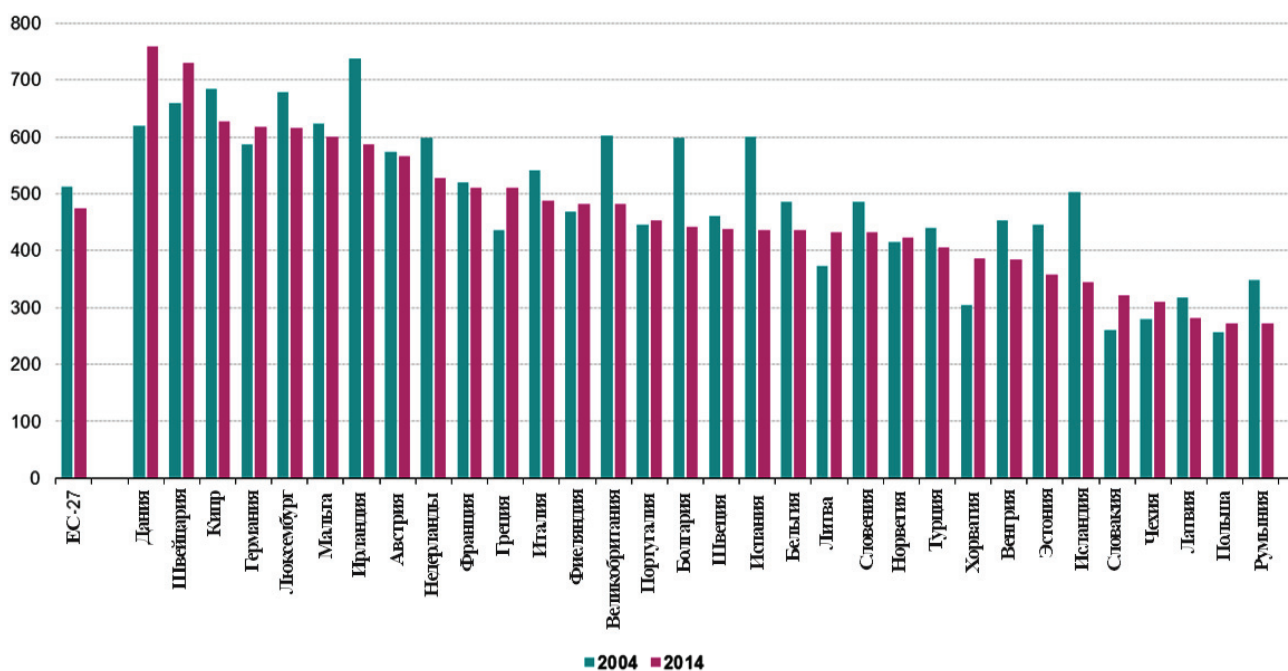


Рис. 3. Нормы накопления ТКО по странам ЕС в 2004 и 2014 гг.

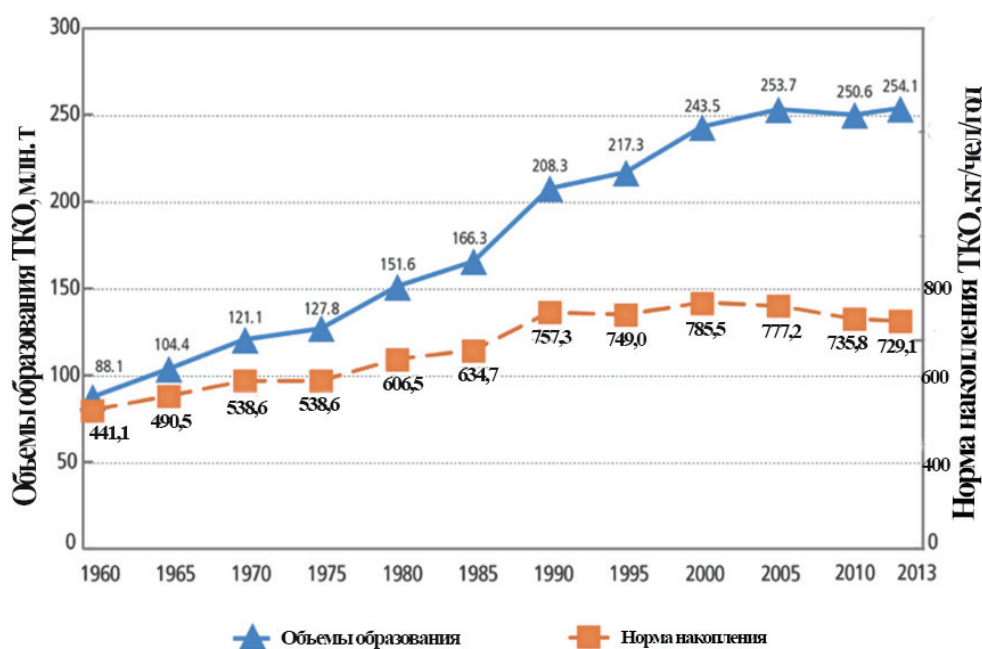


Рис. 4. Образование ТКО в США (1960-2013 гг.)

При исследовании состава и свойств ТКО обследуемого региона определяют их состав, плотность, влажность, зольность, содержание органических веществ и элементный состав, для чего пробы ТКО отбирают непосредственно на полигоне из массы привозимых в день отбора отходов.

Данные о составе ТКО необходимы для выработки стратегии управления коммунальными отходами (организации сбора, идентификации отходов для последующей рециркуляции и исключения опасных отходов, сортировки, транспортировки, предварительной подготовки отходов к утилизации, уменьшения или изоляции определенных фракций). Выбору технологии обращения с ТКО должно предшествовать исследование морфологического состава отходов, которое позволяет определить целесообразность при-

менения того или иного метода утилизации и оценить процент извлечения вторичного сырья. Объективным пределом эффективности раздельного сбора отходов, характеризуемой процентом отбора вторичного сырья, является фактическое содержание полезных компонентов в отходах: даже самая эффективная система раздельного сбора отходов не позволит извлечь вторичного сырья больше, чем его реально образуется [6].

Состав коммунальных отходов может различаться в зависимости от государства или населенного места и экономических аспектов региона (табл. 1). Например, будет отличаться состав отходов в деревне и в городе по потребительскому характеру, по средним доходам населения, в зависимости от того, частный это дом или многоквартирный.

Таблица 1

#### Изменение структуры отходов в зависимости от уровня благосостояния населения [7]

|                            | Страны с низким доходом (< \$876 ВНД/чел.) | Страны со средне-низким доходом (\$876-3465 ВНД/чел.) | Страны со средне-высоким доходом включая Россию (\$3466-10725 ВНД/чел.) | Страны с высоким доходом (> \$10725 ВНД/чел.) |
|----------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Образование ТКО, т/чел/год | 0,22                                       | 0,29                                                  | 0,42                                                                    | 0,78                                          |
| Органические отходы, %     | 64                                         | 59                                                    | 54                                                                      | 28                                            |
| Бумага и картон, %         | 5                                          | 9                                                     | 14                                                                      | 31                                            |
| Пластик, %                 | 8                                          | 12                                                    | 11                                                                      | 11                                            |
| Металл, %                  | 3                                          | 2                                                     | 3                                                                       | 6                                             |
| Стекло, %                  | 3                                          | 3                                                     | 5                                                                       | 7                                             |

При обогащении ТКО возникает техническая задача селективного разделения компонентов, входящих в узкий класс крупности:  $-200(-150) + 0$  мм, а также отделения крупнокусковых компонентов. Для ручной сортировки ТБО наиболее пригодна фракция  $+80$  мм. Фракционный состав ТКО зависит от морфологического состава. Поэтому с изменением морфологического состава необходимо проводить и исследования по изменению фракционного состава ТКО.

Плотность отходов и степень уплотнения обуславливают размеры и вид мусороуборочных машин, срок эксплуатации полигонов ТКО. Чтобы уменьшить затраты транспорта, техника сбора и перегрузки отходов оборудуется специальными прессами. Для увеличения срока эксплуатации полигонов применяется специальная техника, позволяющая значительно уплотнять отходы. Плотность ТКО изменяется в зависимости от их состояния (табл. 2) [8].

Таблица 2

Средние значения плотности ТКО при различных состояниях

| Состояние                                                                       | Плотность, кг/м <sup>3</sup> |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Неуплотнённые ТКО в контейнере                                                  | 90-150                       |
| В мусоровозе (уплотненные)                                                      | 355-530                      |
| ТКО, уплотненные в тюках                                                        | 710-825                      |
| ТКО в уплотненном состоянии в теле полигона, полигон захоронения (без покрытия) | 440-740                      |

При проектировании установок для прессования отходов или послойного их уплотнения на полигонах необходимо знать

степень их уплотняемости в зависимости от создаваемого давления и исходной плотности ТКО [9] (рис. 5).

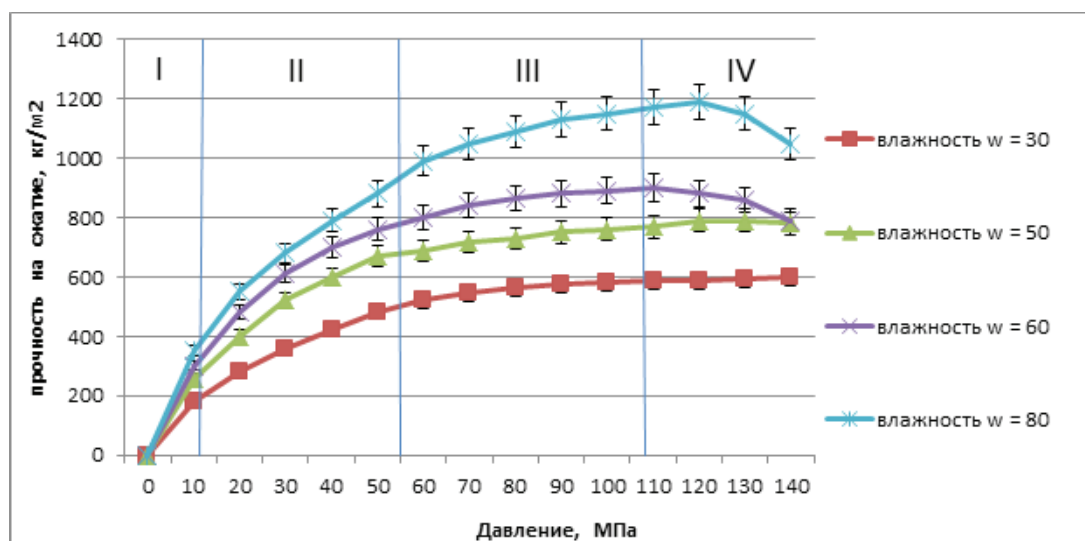


Рис. 5. Зависимость плотности прессовки от давления прессования брикетов ТБО разных влажностей на гидравлическом прессе ППГ-12:

- 1 – линейная деформация; 2 – стадия пластической необратимой деформации;  
3 – стадия упругой деформации; 4 – стадия текучести (расползания)

Главной проблемой переработки ТКО являются их несортированность, высокая влажность, низкая теплотворность и, как следствие, невозможность соблюдения экологически безопасной технологии складирования на полигонах, компостирования, сжигания мусора (поскольку технологии его сжигания рассчитаны на стандарты западного мусора). Целесообразность внедре-

ния тех или иных технологий определяется на основе выбора наилучших с точки зрения экологии из экономически целесообразных технологий с учетом как экономических, так и социальных аспектов, что определяется прежде всего свойствами и характеристиками образующихся отходов [10].

На выбор термического способа обезвреживания оказывают определяющее



влияние морфологический состав отходов, их влажность и зольность, содержание органического вещества и их элементный состав, что в конечном итоге определяет количество образующегося тепла, золы и шлака, загрязняющих веществ, выбрасываемых с отходящими газами. Целесообразность использования термических методов утилизации ТКО напрямую зависит от теплоты сгорания отходов, а теплота сгорания отходов, в свою очередь, тем выше, чем больше содержание макулатуры и полимеров в составе ТБО. Устойчивое самостоятельное горение ТКО возможно при теплоте сгорания более 7-8 МДж/кг. При более низкой теплоте сгорания (что характерно для влажных отходов, отходов с высоким содержанием пищевых остатков и т.п.) термическое обезвреживание отхо-

дов возможно только при использовании дополнительного топлива.

Проведенные исследования показали, что для среднего состава ТКО при учете органической и неорганической части первоначальная влажность ТКО должна составлять не более 5% в установках термической переработки ТКО без привлечения энергии извне. В установках термической переработки ТКО, где используется предварительная подготовка по выделению из ТКО негорючей части, первоначальная влажность топлива может быть повышена до 40%. По удельной теплоте сгорания ТКО можно судить о целесообразности переработки их сжиганием. Элементный состав и выход летучих продуктов отдельных составляющих ТКО на рабочую и горючую массу приведены в таблице 3 [11].

Таблица 3

**Элементный состав, выход летучих продуктов и удельная теплота сгорания отдельных компонентов коммунальных отходов**

| Компонент             | Состав, % |         |          |      |      |      |           | Выход летучих % | Низшая удельная теплота сгорания кДж/кг |
|-----------------------|-----------|---------|----------|------|------|------|-----------|-----------------|-----------------------------------------|
|                       | Углерод   | Водород | Кислород | Азот | Сера | Зола | Влажность |                 |                                         |
| Бумага                | 27,7      | 3,7     | 26,3     | 0,16 | 0,14 | 15   | 25        | 79              | 9,5                                     |
| Пищевые отходы        | 12,6      | 1,8     | 8        | 0,95 | 0,15 | 4,5  | 72        | 65,2            | 3,4                                     |
| Текстиль              | 40,4      | 4,9     | 23,2     | 3,4  | 0,1  | 8    | 20        | 74,3            | 15,7                                    |
| Древесина             | 40,5      | 4,8     | 33,8     | 0,1  | -    | 0,8  | 20        | 67,9            | 14,5                                    |
| Отсев                 | 13,9      | 1,9     | 14,1     | -    | 0,1  | 50   | 20        | 44              | 4,6                                     |
| Пластмасса            | 55,1      | 7,6     | 17,5     | 0,9  | 0,3  | 10,6 | 8         | 79              | 24,4                                    |
| Зола, шлак            | 25,2      | 0,45    | 0,7      | -    | 0,45 | 63,2 | 10        | 2,7             | 8,7                                     |
| Кожа, резина          | 65        | 5       | 12,6     | 0,2  | 0,6  | 11,6 | 5         | 49              | 25,8                                    |
| Прочее                | 47        | 5,3     | 27,7     | 0,1  | 0,2  | 11,7 | 8         | 60,2            | 18,1                                    |
| Стекло, металл, камни | -         | -       | -        | -    | -    | 100  | -         | -               | -                                       |

Зная морфологический состав ТКО и влажность его компонентов, можно прогнозировать агрохимические показатели получаемого компоста, которые будут определять целесообразность применения метода *аэробного компостирования ТКО*. Использование биотехнологий целесообразно для ТКО с высоким содержанием пищевых и растительных отходов, когда извлечение вторичного сырья или энергетическая утилизация отходов неэффективны. Эти выводы подтверждаются и при использовании в переработке технологий анаэробного сбраживания [12]. Установлено, что 80% органического компонента в составе

ТКО является благоприятным фактором при производстве обогащенного метаном биогаза (рис. 6).

Физико-химический состав ТКО различен и зависит от источников и видов твердых отходов. Свойства отходов (отношение пропорций количества содержания в отходах разлагаемых и неразлагаемых компонентов, содержание влаги, вид био-разлагаемых компонентов), *размещенных на полигоне ТКО*, будут влиять на образование биогаза и фильтрата. Состав отходов будет определять как объемы образования биогаза, так и состав его компонентов.

Величина полевой влагоемкости (ПВ) имеет большое значение при определении объема образования фильтрата на полигонах захоронения ТКО. От проницаемости

(гидравлической проводимости) уплотненных твердых отходов зависят процессы движения жидкостей и газов на полигонах захоронения ТКО.

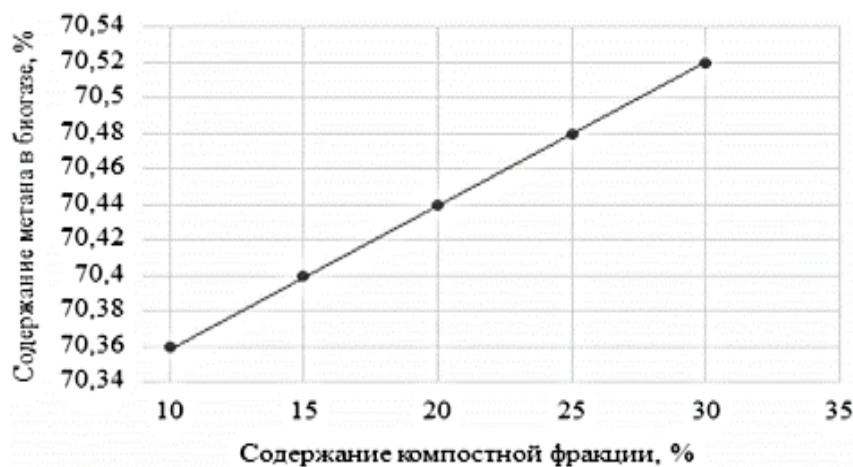


Рис. 6. Зависимость содержания метана в биогазе от содержания компостной фракции

### Выводы

1. Данные о составе ТКО необходимы для выработки стратегии управления коммунальными отходами (организации сбора, идентификации отходов для последующей рециркуляции и исключения опасных отходов, сортировки, транспортировки, предварительной подготовки отходов к утилизации, уменьшения или изоляции определенных фракций).

2. Информация и данные о физическом составе твердых коммунальных отходов имеют важное значение при выборе и эксплуатации оборудования и сооружений, при оценке целесообразности восстановления ресурсов и энергии из отходов при проектировании объектов переработки и термического обезвреживания.

3. Состав отходов, содержание влаги, размер частиц, плотность отходов, температура и pH имеют важное значение, поскольку они влияют на степень и скорость деградации отходов при выборе технологий аэробного и анаэробного сбраживания.

4. При выборе метода и технологии обезвреживания ТКО необходимо иметь полную информацию о морфологическом составе, физико-механических и теплотехнических свойствах, химических и микробиологических характеристиках ТКО.

### Библиографический список

1. <http://alfaeko.ru/wpcontent/uploads/books/book01.pdf>/ Европейская практика об-

ращения с отходами: проблемы, решения, перспективы. Санкт-Петербург, 2005.

2. Modak P. (2011). Synergizing Resource Efficiency with Informal Sector towards Sustainable Waste Management, Building Partnerships for Moving Towards Zero Waste, A Side Event for CSD19 held on 12 May 2011, Tokyo.

3. Правила разработки схем санитарной очистки городов РСФСР. Отдел научно-технической информации АКХ. Москва, 1986. [http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/549003/pravila\\_razrabotki\\_skhem\\_sanitarnoi\\_ochistki\\_gorodov\\_rsfsr.pdf](http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/549003/pravila_razrabotki_skhem_sanitarnoi_ochistki_gorodov_rsfsr.pdf)

4. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-plained/index.php/Municipal\\_waste\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-plained/index.php/Municipal_waste_statistics).

5. <https://archive.epa.gov/epawaste/non-haz/municipal/web/html/index.html>.

6. Ильиных Г.В. Использование результатов определения морфологического состава твердых бытовых отходов для обоснования системы обращения с отходами // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2012. № 1(5) С. 8.

7. Всемирный банк. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. – 2012. Доступно по ссылке: [http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What\\_a\\_Waste2012\\_Final.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf). // <http://mimoza.marmara.edu.tr/~baris.calli/Enve330/Chapter4.pdf>.

8. Гонопольский А.М., Ермакова Л.С., Патрикеев И.А. Влияние влажности на процесс прессования ТБО со связующим веществом //

Естественные и математические науки в современном мире: Сборник статей по материалам XIX Международной научно-практической конференции 4 июня 2014 г. 2014. № 19. С. 82-84.

9. Соломин И.А., Башкин В.Н. Выбор оптимальной технологии переработки ТБО // Экология и промышленность России. ЭЖП. 2005. № 9. С. 42-45.

10. Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от мусоросжигательных и мусороперерабатывающих заводов // <http://www.gosthelp.ru/text/MetodicheskieukazaniyaMet20.html>

11. Джамалова Г.А. Интенсификация анаэробного разложения модельных об-

разцов твердых бытовых отходов в биореакторах // Известия СПбГТИ (ТУ). 2014. № 23 (49). С. 84-86.

Материал поступил в редакцию 22.03.2017 г.

#### Сведения об авторах

**Соломин Игорь Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Организации и технологии строительства объектов природообустройства», ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА, 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44; e-mail: garik13solomin@yandex.ru

**Афанасьева Виктория Игоревна**, магистр, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА, 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44.

**I.A. SOLOMIN, V.I. AFANASEVA**

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

## COMPOSITION AND PROPERTIES OF MUNICIPAL SOLID WASTE CONSIDERED WHEN CHOOSING TECHNICAL METHODS OF WATER TREATMENT

*Information and data on the composition and properties of municipal solid waste (MSW) are important in choosing a method for collection, transportation, operation of equipment and facilities when evaluating the feasibility of resources and energy receiving from waste when designing. The choice of a MSW treatment technology should be preceded by a study of the morphological composition of the waste which allows to define the feasibility of application of the recycling method and to assess the percentage of extraction of the secondary raw materials. Modern concepts of waste treatment, as a rule, are based on the maximum use of the resource components potential included in the MSW. The objective limit of the efficiency of separate waste collection characterized by the percentage of selection of secondary raw materials is the actual content of useful components in the waste. According to the specific heat of MSW combustion it is possible to judge the treatment appropriateness by their combustion. When choosing a MSW recycling method by an aerobic composting method, you should first evaluate the predicted agrochemical parameters of the resulting compost. The properties of the waste (the ratio of proportions of the amount of degradable and non-degradable components in the waste, moisture content, type of biodegradable components) placed in the MSW landfill will affect the formation of biogas and filtrate. The waste composition will determine both volumes of biogas formation and composition of its components. When designing waste compressing plants or their layer-by-layer compaction on landfills it is necessary to know the degree of their compression rate depending on the generated pressure. The article analyzes the composition and properties of MSW in different countries as well as there are given technical methods of waste treatment taking into account the international experience.*

*Municipal solid waste, separate collection of waste, recycling of secondary raw materials, thermal methods of neutralization of MSW, methods of MSW aerobic composting, MSW landfill.*

#### References

1. <http://alfaeko.ru/wpcontent/uploads/books/book01.pdf/> Evropejskaya praktika obrashcheniya s othodami: problem, resheniya, perspektivy. Sankt-Peterburg, 2005.

2. Modak P. (2011). Synergizing Resource Efficiency with Informal Sector towards Sustainable Waste Management, Building Partnerships for Moving Towards Zero Waste, A Side Event for CSD19 held on 12 May 2011, Tokyo.

3. Pravila razrabotki skhem sanitarnoj ochistki gorodov RSFSR. Otdel nauchno-technicheskoy informatsii AKH. Moskva, 1986. [http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/549003/pravila\\_razrabotki\\_skhem\\_sanitarnoi\\_ochistki\\_gorodov\\_rsfsr.pdf](http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/549003/pravila_razrabotki_skhem_sanitarnoi_ochistki_gorodov_rsfsr.pdf)

4. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-plained/index.php/Municipal\\_waste\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-plained/index.php/Municipal_waste_statistics).

5. <https://archive.epa.gov/epawaste/non-haz/municipal/web/html/index.html>.

6. Iljinyh G.V. Ispolzovanie rezul'tatov opredeleniya morfologicheskogo sostava tverdyh bytovykh othodov dlya obosnovaniya sistemy obrashcheniya s othodami // Vestnik PNIPU. Urbanistika. 2012. № 1(5) S. 8.

7. Vsemirny bank. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. – 2012. Dostupno po ssylke: [http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What\\_a\\_Waste2012\\_Final.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf). // <http://mimoza.marmara.edu.tr/~baris.calli/Enve330/Chapter4.pdf>.

8. Gonopol'sky A. M., Ermakova L. S., Patrikeev I.A. Vliyanie vlazhnosti na protsess pressovaniya TBO so svyazuyushchim veshchestvom // Estestvennye i matematicheskie nauki v sovremennom mire: Sbornik statej po materialam XIX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii 4 iyunya 2014 g. 2014. № 19. S. 82-84.

9. Solomin I. A., Bashkin V.N. Vybor optimal'noj tehnologii pererabotki TBO // *Ecologiya i promyshlennost' Rossii*. EKiP. 2005. № 9. S. 42-45.

10. Metodicheskie ukazaniya po raschetu vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv v atmosferu ot musoroszhihayushchih i musoropererabatyvayushchih zavodov // <http://www.gosthelp.ru/text/MetodicheskieukazaniyaMet20.html>

11. Jamalova G.A. Intensifikatsiya anaerobnogo razlozheniya model'nykh obraztsov tverdykh bytovykh otkhodov v bioreaktorah // *Izvestiya (TU)*. 2014. № 23 (49). S. 84-86.

The material was received at the editorial office  
22.03.2017

#### Information about the authors

**Solomin Igor Alexandrovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Organization and technologies of construction of environmental engineering objects», FSGEI HE RGAU-MAA, 127550, Moscow, ul. Bol'shaya Akademicheskaya, d. 44; e-mail: [garik13solomin@yandex.ru](mailto:garik13solomin@yandex.ru)

**Afanasjeva Victoria Igorevna**, master, FSGEI HE RGAU-MAA, 127550, Moscow, ul. Bol'shaya Akademicheskaya, d. 44.



УДК 502/504:631.372

**С.Р. СИРЕКАНЯН**

Национальный аграрный университет Армении, г. Ереван, Республика Армения

**М.А. КАРАПЕТЯН**

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования

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

## ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛЫ НА РАСПОЛОЖЕНИЕ ЦЕНТРА ПОВОРОТА ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА ПРИ ЕГО ПЛАВНОМ ПОВОРОТЕ

Рассмотрена задача по определению координат центра вращения при плавном повороте гусеничного трактора (отстающая тележка выключена, но не заторможена) на горизонтальном участке, без крюковой нагрузки. Координаты центра вращения трактора определены из критерия поворотливости трактора (условие необходимости критерия поворотливости – минимальность общего момента сопротивления; условие достаточности критерия поворотливости заключается в том, что центром вращения может быть такая точка, относительно которой моменты пассивных сил сопротивления как по поперечному, так и по продольному направлению должны быть равными между собой). По результатам исследования сделано следующее заключение. Активная поперечная сила, действуя на трактор, приводит к перераспределению нормальных нагрузок на опорных поверхностях гусениц, смещает центр давления, уравнивается пассивными поперечными силами в средней части опорной поверхности гусениц на участке длиной  $2x_0$ , уменьшает момент сопротивления пассивных сил и способствует или препятствует повороту трактора в зависимости его направления вращения, а центром вращения является центр давления, который удовлетворяет требования критерия поворотливости трактора.

*Гусеничный трактор, плавный поворот, центр давления, центр вращения, момент сопротивления поворота.*

**Введение.** Под воздействием гусениц и колес тракторов и машин прежде всего уплотняется верхний плодородный горизонт почвы, который при обработке, при посеве, уходе за посевами и уборке урожая подвергается многократному воздействию движителей. При уплотнении почвы ухудшаются физико-механические и водо-воздушные свойства почвы, тепловой и питательные режимы корнеобитаемого слоя, снижается плодородие, что, в конечном итоге, приводит к недобору урожая сельскохозяйственных культур. Поэтому изучение вопроса плавного поворота гусеничной машины является актуальным.

**Результаты.** Определим центр плавного поворота трактора весом  $G$  на горизонтальной поверхности, когда, кроме активного вращающего момента, на него действует активная поперечная сила  $T$ , приложенная на некоторой точке с координатами  $x_T, y_T, z_T$ .

Под действием силы  $T$  происходит перераспределение нормальных давлений на гусеницах, что приводит к смещению центра давления трактора в поперечном направлении (рис. 1). Смещение центра давления определится из уравнения:

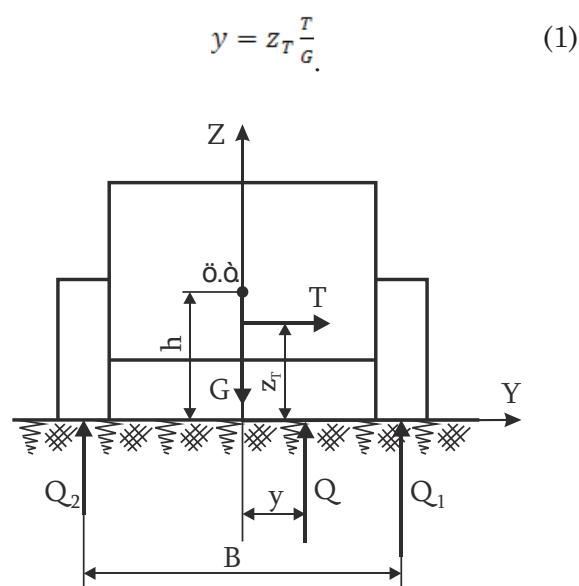


Рис. 1. Схема определения центра плавного поворота трактора

Согласно приведенной схеме (рис. 1)

$$Q_1 = G \left( \frac{1}{2} + \frac{y}{B} \right), \quad (2)$$

$$Q_2 = G \left( \frac{1}{2} - \frac{y}{B} \right). \quad (3)$$

При этом  $Q_1 + Q_2 = Q = G$ . Соответственно уравнениям (2) и (3) значения удельных линейных давлений, приходящиеся на единицу длины каждой гусеницы, составят

$$q_1 = \frac{Q_1}{L} = \frac{G}{L} \left( \frac{1}{2} + \frac{T \cdot z_T}{G \cdot B} \right) = q_o + k \cdot y; \quad (4)$$

$$q_2 = \frac{Q_2}{L} = \frac{G}{L} \left( \frac{1}{2} - \frac{T \cdot z_T}{G \cdot B} \right) = q_o - k \cdot y, \quad (5)$$

где  $q_o = \frac{G}{2L}$ ,  $k = \frac{G}{L \cdot B}$ .

Положим, что при повороте трактор вращается вокруг некоторой точки  $C$  (рис. 2). При повороте трактора под некоторым углом центр гусеницы 1 из точки  $E$  перемещается в точку  $E_1$  по дуге  $EE_1$  радиуса  $r_1 = CE = \frac{B}{2} - y_c$ , а центр гусеницы 2 перемещается дугой  $AA_1$  радиуса  $r_2 = CA = \frac{B}{2} + y_c$  и занимает положение  $A_1$ . Таким образом, каждая гусеница совершает поворот вокруг своего центра ( $E, A$ ) относительно своего исходного положения (показано пунктиром) под углом  $\delta$ , а центры в процессе поворота перемещаются поступательным движением в новое положение ( $E_1, A_1$ ).

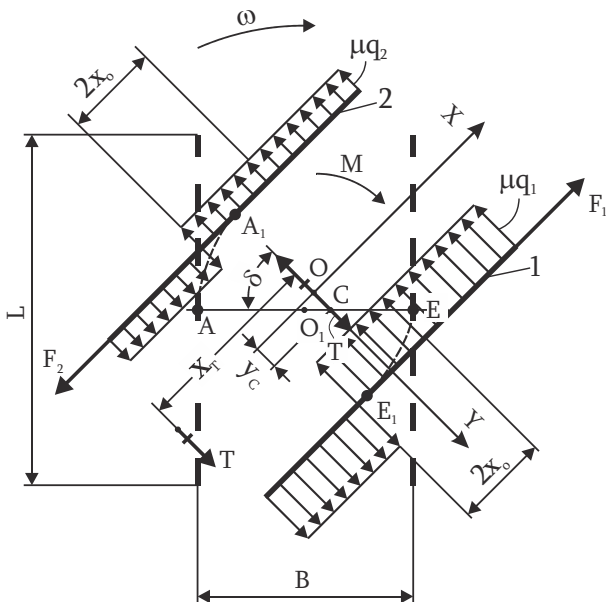


Рис. 2. Поворот трактора вокруг точки  $C$

Следует обратить особое внимание на то, что поступательные перемещения центров гусениц, вызванные вращением трактора, происходят за счет не поступательного перемещения гусениц по почве, а перемещения трактора по беговым до-

рожкам гусениц. При этом в передней части гусеничных лент опускаются к земле новые звенья и располагаются совершенно в иной ориентации, чем та ориентация, которую занимали они в предыдущем цикле, т.е. когда находились на земле в задней части гусеничной ленты. Поэтому в каждый момент центры опорных поверхностей гусениц занимают новые положения, относительно которых вращаются гусеничные ленты, вызывая пассивные поперечные силы сопротивления. Гусеничные ленты вращаются под воздействием остова трактора с опорными катками, которые из-за вращающего момента  $M$  перекашиваются на гусеницах, и крайние катки односторонне сжимаются к направляющим элементам беговых дорожек (рис. 3), вызывая пары сил  $N-N$ .

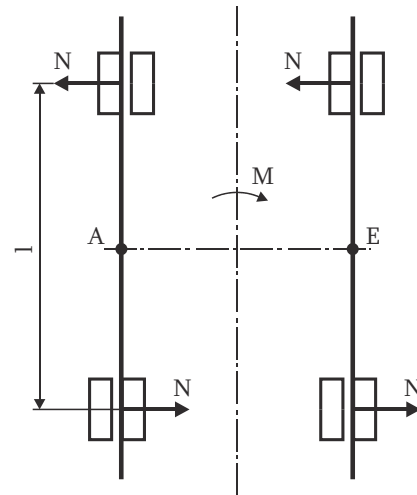


Рис. 3. Схема пары сил  $N-N$

Ясно, что силы  $N$  будут вызывать дополнительные сопротивления перекачиванию трактора на гусеницах, т.к. под их действием возникнут силы трения скольжения реборд крайних опорных катков о направляющие элементы дорожки. Отметим, что в силу неравномерности распределения зазоров между катками и направляющими элементами эти силы будут неодинаковыми, и точно рассчитать их невозможно.

Если принять, что зазоры везде одинаковы, то тогда значения  $N$  можно определить уравнением:

$$N = \frac{M}{2l}$$

Однако случается, когда с направляющими элементами могут контактировать только две опорные катки, расположенные

по диагонали опорной части трактора, что более вероятно. Тогда значение  $N^I$

$$N^I = \frac{M}{l},$$

т.е. в два раза больше.

При определении центра вращения влияние этих сил будем учитывать коэффициентом сопротивления  $f^I$ . Таким образом, можно прийти к заключению, что в процессе поворота трактора на опорных частях вдоль гусениц действуют силы сопротивления перекатыванию  $F_1 = Q_1 \cdot f^I$  и  $F_2 = Q_2 \cdot f^I$ , а поперек гусениц – силы сопротивления трения гусениц с опорной поверхностью, распределенные равномерно с интенсивностью соответственно  $\mu \cdot q_1$  и  $\mu \cdot q_2$ .

Производя параллельный перенос активной поперечной силы  $T$  на вертикальную линию, проходящую через центр тяжести трактора  $O$ , получим момент  $T \cdot x_T$ , способствующий или препятствующий повороту трактора в зависимости от направления вращения, и активную силу  $T$ , действующую в поперечной плоскости, проходящей через центр тяжести трактора.

Для уравнивания силы  $T$  из условия равновесия  $\sum Y = 0$  получим

$$T = 2\mu \cdot x_o(q_1 + q_2). \quad (6)$$

Из уравнения (6) следует, что независимо от направления вращения трактора активная поперечная сила  $T$  уравнивается пассивными тангенциальными поперечными силами в средней части опорной поверхности гусениц на участке длиной  $2x_o$  (рис. 2).

Оставшиеся части эпюр занимают симметричное расположение относительно оси ОУ (поперечной оси симметрии опорной поверхности трактора) и образуют пары сил с моментами:

А) для гусеницы 1

$$M_1 = \mu \cdot q_1 \left( \frac{L^2}{4} - x_o^2 \right); \quad (7)$$

Б) для гусеницы 2

$$M_2 = \mu \cdot q_2 \left( \frac{L^2}{4} - x_o^2 \right). \quad (8)$$

Общий момент сопротивления пассивных тангенциальных сил

$$M = M_1 + M_2 = \mu(q_1 + q_2) \left( \frac{L^2}{4} - x_o^2 \right), \quad (9)$$

где  $x_o$  определяется по уравнению (6).

Как следует из уравнения (9), поперечная активная сила  $T$  уменьшает момент сопротивления повороту от пассивных тангенциальных сил.

Из условия достаточности критерия поворотливости трактора следует, что центром вращения может быть такая точка, относительно которой моменты пассивных сил сопротивления как по поперечному, так и по продольному направлениям должны быть равными между собой.

Из этого условия получим

$$M_{1п} + M_{2п} = M_{1з} + M_{2з} = \frac{1}{2} \mu(q_1 + q_2) \left( \frac{L^2}{4} - x_o^2 \right), \quad (10)$$

где  $M_{1п}$ ;  $M_{2п}$ ;  $M_{1з}$ ;  $M_{2з}$  – моменты от поперечных пассивных сил, действующих на передней и задней частях соответствующих гусениц.

Из уравнения (10) следует, что центр поворота трактора должен лежать на оси ОУ, т.е.  $x_c = 0$ .

Используя условие достаточности для продольных сил, получим

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

или

$$Q_1 \cdot f^I \left( \frac{B}{2} - y_c \right) = Q_2 \cdot f^I \left( \frac{B}{2} + y_c \right). \quad (11)$$

Решая уравнение (11) относительно  $y_c$ , получим

$$y_c = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 + Q_2} \cdot \frac{B}{2}. \quad (12)$$

Подставляя значения  $Q_1$  и  $Q_2$  из уравнений (2) и (3) в уравнение (12), получим  $y_c = y = z_T \cdot \frac{T}{G}$ , т.е. центром вращения  $c(x_c = 0; y_c = z_T \cdot \frac{T}{G})$  является центр давления трактора.

Проверим, удовлетворяется ли при этом условие необходимости (минимальность общего момента сопротивления). С этой целью составим уравнение работ всех пассивных сил:

$$\sum A_{nc} = M \cdot \delta + (r_1 \cdot F_1 + r_2 \cdot F_2) \delta + 2\mu(q_1 + q_2) \delta \cdot x_o^2.$$

Подставляя соответствующие значения и заменяя  $x_o$  произвольным значением  $x$ , окончательно будем иметь

$$\sum A_{nc} = \mu(q_1 + q_2) \left( \frac{L^2}{4} + x^2 \right) \delta + L \cdot f^I \cdot \delta \times \left[ (q_o + k \cdot y) \left( \frac{B}{2} - y \right) + (q_o - k \cdot y) \left( \frac{B}{2} + y \right) \right].$$

Определим экстремальные значения  $\sum A_{nc}$  по переменным  $x$  и  $y$ :

$$1. \Phi^I(x) = \frac{\partial \sum A_{nc}}{\partial x} = 2\mu \cdot \delta(q_1 + q_2)x = 0,$$

откуда  $x = x_c = 0$ , что означает, что при ЯЯ работа пассивных сил будет минимальной.

$$2. \Phi^I(y) = \frac{\partial \sum A_{nc}}{\partial y} = -4L \cdot f^I \cdot \delta \cdot k \cdot y = 0,$$

откуда  $y = 0$ .

Проверка показывает, что для  $\bar{y}$ , немного меньших  $y = 0$ , т.е.  $\bar{y} = -\varepsilon$ ,  $\Phi^I(y)$  имеет положительный знак (+) и для  $\bar{y}$ , немного больших  $y = 0$ , т.е.  $\bar{y} = +\varepsilon$ ,  $\Phi^I(y)$  имеет отрицательный знак (-). Значит, при  $y = 0$  функция  $\Phi(y)$  имеет максимум.

Действительно, обозначая

$$A_1 = L \cdot f^I \cdot \delta \left[ (q_o + k \cdot y) \left( \frac{B}{2} - y \right) + (q_o - k \cdot y) \left( \frac{B}{2} + y \right) \right]$$

и упрощая, получим

$$A_1 = (q_o B - 2k \cdot y^2) L \cdot f^I \cdot \delta = G \cdot f^I \cdot \delta \left( \frac{B}{2} - \frac{2}{B} y^2 \right). \quad (13)$$

Как следует из уравнения (13), при  $y = 0$   $A_1 = A_{1max}$ , и наоборот, чем больше  $y$ , тем меньше значение  $A_1$  (рис. 4).

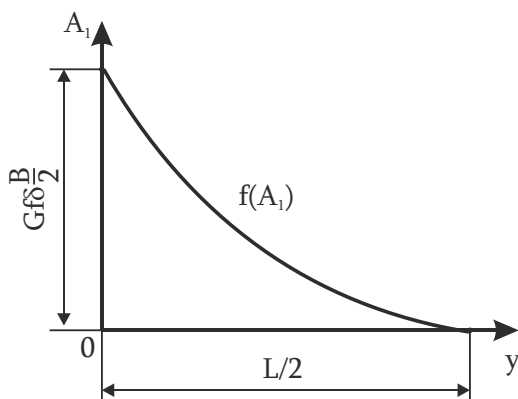


Рис. 4. График функции  $y = f(A)$

При  $y = \frac{B}{2}$  получим  $A_1 = 0$ .

$y = \frac{B}{2}$  означает, что и  $q_1 = 0$ , и вся нагрузка приходится на одну гусеницу, следо-

вательно, и работа продольных пассивных сил будет равна нулю.

В условиях нашей задачи  $q_1$  и  $q_2$  отличны друг от друга и оба являются положительными, значит, значение  $y = y_c = z_T \frac{T}{G}$  при данных условиях будет оптимальным, и при повороте трактора вокруг точки  $C$  будет затрачена минимальная работа.

Таким образом, центр давления  $C$ , как центр вращения всего трактора, будет отвечать также условию необходимости критерия поворотливости трактора.

### Заключение

Можем констатировать, что активная поперечная сила, действуя на трактор, приводит к перераспределению нормальных нагрузок на опорных поверхностях гусениц, смещает центр давления, уравнивается пассивными поперечными силами в средней части опорной поверхности гусениц на участке длиной  $2x_o$ , уменьшает момент сопротивления пассивных сил и способствует или препятствует повороту трактора в зависимости его направления вращения, а центром вращения является центр давления, который отвечает требованиям критерия поворотливости трактора.

Материал поступил в редакцию 18.04.2017 г.

### Сведения об авторах

**Сиреканян Самвел Рафикович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и тракторы», Национальный аграрный университет Армении; 0009, Республика Армения, Ереван, ул. Теряна, 74; e-mail: samsir1@rambler.ru

**Карапетян Мартик Аршалуйсович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая эксплуатация технологических машин и оборудования природообустройства» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д.19; e-mail: karapetyan.martik@yandex.ru



**S.R. SIREKANYAN**

National agrarian university of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia

**M.A. KARAPETYAN**

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

## **INFLUENCE OF THE TRANSVERSAL FORCE OF THE CENTER LOCATION OF THE OF THE CRAWLER TRACTOR TURN AT ITS SMOOTH TURN**

*The problem of determining the coordinates of the rotation center is considered when the crawler tractor turns smoothly (the lagging trailer is turned off but not braked) in the horizontal section, without hook loading. The coordinates of the center of the tractor rotation are determined from the criterion of the tractor agility (the condition for the necessity of the turning criterion – the minimum of the general moment of resistance; the condition of sufficiency of the turning criterion – the center of rotation can be a point relative to which the moments of the passive forces of resistance, both in the transverse and longitudinal direction, should be equal. According to the investigation results the following conclusion is made. The active transverse force affecting the tractor leads to redistribution of normal loadings on crawler supporting surface, it displaces the center of pressure, it is balanced by passive cross forces in the middle part of the crawler supporting surface on the length  $2x_0$ , reduces a drag torque of passive forces and promotes or prevents from the tractor turning movement depending on its rotation direction, and the center of rotation is the center of pressure which meets the requirements of the tractor turning criteria.*

*Crawler tractor, smooth turning movement, center of pressure, center of rotation, turning drag torque.*

The material was received at the editorial office

### **Information about the authors**

**Sirekanyan Samvel Rafikovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Automobiles and tractors», National agrarian university of Armenia; 0009, Republic of Armenia, Yerevan, ul. Teryana, 74; e-mail: samsir1@rambler.ru

**Karapetyan Martik Arshaluisovich**, doctor of technical sciences, professor of the chair «Technical operation of technological machinery and equipment of environmental engineering» FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d. 19; e-mail: karapetyan.martik@yandex.ru

УДК 502/504: 630\*524.2:519.2

**В.В. ЗАВАРЗИН, А.В. ЛЕБЕДЕВ**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация**К МЕТОДИКЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕМА СТВОЛОВ  
НА ПРИМЕРЕ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ  
(*PINUS SIBIRICA*)**

*Исследование проводилось с целью отбора и обоснования моделей, наилучшим образом описывающих зависимость объема от диаметра на высоте груди и высоты ствола. В общей сложности в работе использованы сведения о 689 модельных деревьях сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica*), отобранных на Среднем Урале, в Западной и Восточной Сибири. В результате анализа источников литературы для анализа были выбраны 16 видов математических моделей. Значения параметров моделей определялись методом наименьших квадратов. Оценка качества моделей проводилась по таким показателям, как коэффициент детерминации ( $R^2$ ), скорректированный коэффициент детерминации ( $adj. R^2$ ), среднеквадратическая ошибка ( $MSE$ ) и информационные критерии ( $AIC$  и  $BIC$ ). Широко применяемые в лесном хозяйстве модели в логарифмическом масштабе, которые часто используются для моделирования объема стволов и биомассы деревьев, оказались несколько хуже моделей, в которых отклик используется в исходном масштабе, несмотря на то, что в логарифмическом спрямленном признаковом пространстве модели характеризуются высоким значением коэффициента детерминации ( $R^2 = 0,997$ ). Значение  $MSE$  для моделей, отобранных в качестве лучших, составляет 0,0023, а для моделей с логарифмическим преобразованием  $MSE$  в исходном масштабе находится в диапазоне от 0,0027 до 0,0029. Для сравнения качества моделей рекомендуется использовать не только коэффициент детерминации, но также и информационные критерии. Выявленные в работе закономерности могут быть положены в основу новых лесотаксационных нормативов, а предлагаемые методические подходы могут использоваться при моделировании объема стволов других древесных пород.*

*Объем ствола, сосна сибирская кедровая, кедр, инвентаризация лесов, моделирование, коэффициент детерминации, информационный критерий.*

**Введение.** Точность оценки объемов стволов и, как следствие, точность определения запаса стволовой древесины всегда были одной из главных задач лесной таксации. В СССР большое внимание ведению лесного хозяйства в кедровых лесах стало уделяться в 1930-е годы. В связи с этим возникла необходимость составления объемных таблиц, так как возросли требования к учету запасов кедровой древесины. Применяемые до этого нормативы по сосне и ели приводили к ошибкам при определении объемов стволов кедра, достигающих в отдельных случаях 30-50%.

Большое количество лесотаксационных нормативов для определения объемом

стволов кедра составлены методом графического выравнивания. Существенный вклад в разработку объемных таблицы стволов кедра внесли Н.В. Третьяков, П.В. Горский, В.Е. Шульц [1], Н.П. Анучин [2], И.А. Нахабцев [3], А.Д. Дударев, Н.Г. Косарев, М.С. Липчанский, В.Я. Сивков [4], И.В. Семечкин [5], В.В. Заварзин, А.В. Лебедев [6] и др.

Повысить точность нормативов можно, применяя математические и статистические методы, которые позволяют с использованием сравнительно небольшого количества наблюдений, отобранных из всей популяции, получать адекватные прогностические модели [7].

**Целью исследования** является моделирование объема стволов сосны кедровой сибирской (*Pinussibirica*), отбор и обоснование лучших моделей, описывающих зависимость объема от диаметра ствола на высоте груди и высоты ствола.

**Материалы и методы.** Данные о морфометрических характеристиках стволов сосны кедровой сибирской, используемые в работе, получены в результате проведения лесоустроительных работ на территории Иркутской области (Жигаловский и Черемхов-

ский районы – Восточная Сибирь), Тюменской области (Нижневартовский, Сургутский, Ярковский районы – Западная Сибирь). Кроме того, в работе используются данные В.А. Усольцева [8], собранные на территории Свердловской области (Верхотурский район – Средний Урал). Места сбора экспериментальных материалов отмечены на карте-схеме административно-территориального деления Российской Федерации (рис. 1), выполненной в цилиндрической проекции Миллера (EPSG:54003 – World Miller Cylindrical).

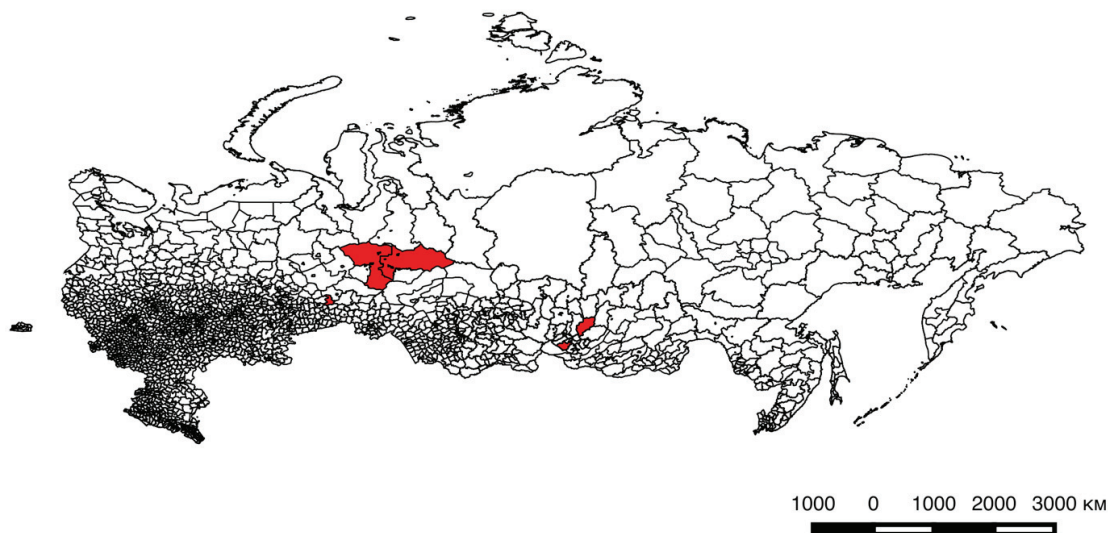


Рис. 1. Места сбора экспериментальных материалов (красный цвет) на карте-схеме административно-территориального деления Российской Федерации

Выборка для моделирования включает в себя сведения о 689 модельных деревьях. Визуализация выборки по таким показателям, как диаметр ствола на высоте груди, высота ствола и объем ствола, представлена на рисунке 2.

Выборка характеризуется следующими статистическими показателями. Среднее значение диаметра на высоте груди составляет 20,0 см (среднеквадратическое отклонение – 11,5 см), среднее значение высоты – 14,5 м (среднеквадратическое отклонение – 6,4 м). Среднее значение возраста модельных деревьев – 151 год (среднеквадратическое отклонение – 67 лет), среднее значение объема – 0,3881 м<sup>3</sup> (среднеквадратическое отклонение – 0,4481 м<sup>3</sup>).

Как следует из рисунка 2, наибольшая доля экспериментального материала приходится на стволы с диаметром на высоте груди до 30 см, при этом распределение экспериментального материала по классам высот является близким к равномерному. Распределение экспериментального мате-

риала по классам объемов стволов характеризуется ярко выраженной правосторонней асимметрией, больше половины модельных деревьев имеют объем ствола до 0,5 м<sup>3</sup>.

На основании изучения данных литературы [7, 9, 10, 11] были выбраны 16 математических моделей объема стволов ( $v$ ) с использованием в качестве переменных-предикторов диаметра на высоте груди ( $d$ ) и высоты ствола ( $h$ ). Структура математических моделей представлена в таблице 1.

Оценка параметров моделей проведена с использованием метода наименьших квадратов. Для каждой модели рассчитывался коэффициент детерминации ( $R^2$ ), скорректированный коэффициент детерминации ( $\text{adj. } R^2$ ), информационный критерий Акаике (AIC), информационный критерий Байеса (BIC) и средний квадрат ошибки (MSE) в масштабе исходных признаков. Для нелинейных моделей наряду с коэффициентом детерминации был рассчитан индекс детерминации. Общая значимость регрессионной модели оценивалась с использованием F-теста ( $\alpha = 0,05$ ).

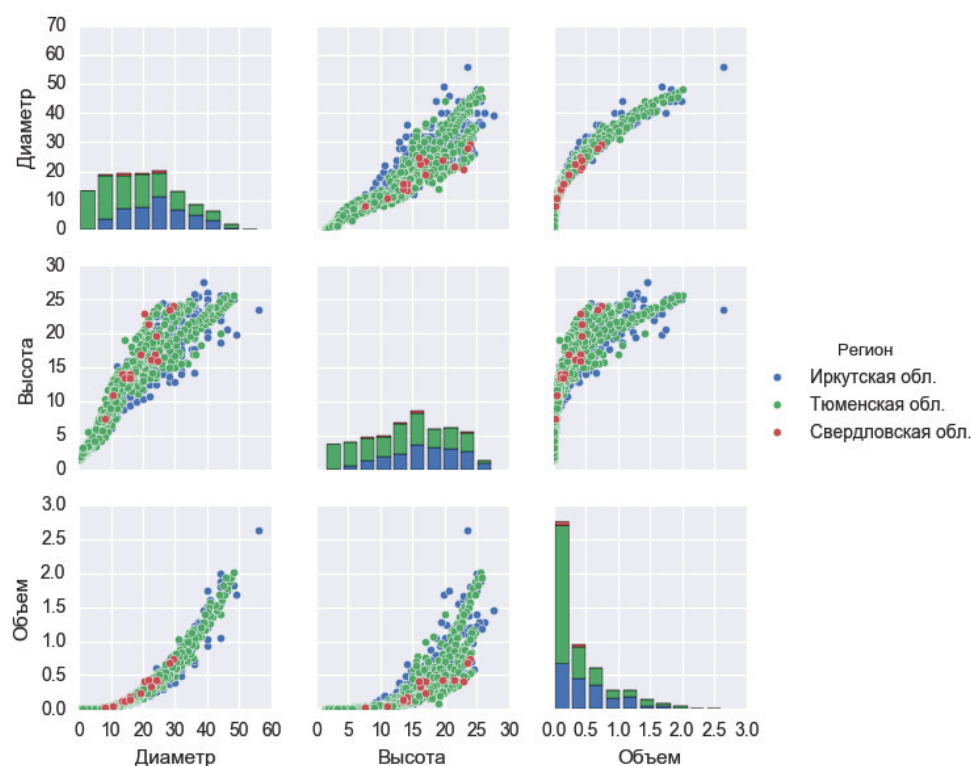


Рис. 2. Визуализация выборки

Таблица 1

Структура математических моделей объема стволов

| №  | Структура модели                                                                                        |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | $v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h$                                                                   |
| 2  | $v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 h + \beta_3 h$                                                   |
| 3  | $v = \beta_0 + \beta_1 h d^2$                                                                           |
| 4  | $v = \beta_0 + \beta_1 d^2$                                                                             |
| 5  | $v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$                                                                 |
| 6  | $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln(h d^2)$                                                                  |
| 7  | $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$                                                       |
| 8  | $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln^2 d + \beta_3 \ln h$                                     |
| 9  | $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln^2 d + \beta_3 \ln^3 d + \beta_4 \ln h + \beta_5 \ln^2 h$ |
| 10 | $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln^2 d + \beta_3 \ln(h - 1,3) + \beta_4 \ln^2(h - 1,3)$     |
| 11 | $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln(h - 1,3)$                                                |
| 12 | $v = \frac{\pi}{40000} d h (\beta_0 + \beta_1 d)$                                                       |
| 13 | $v = \beta_0 h d^2 + \beta_1 d h + \beta_2 d^3 + \beta_3 d h^2$                                         |
| 14 | $v = \frac{\pi}{4} (\beta_0 d^2 h + \beta_1 d^2 h \ln^2 d + \beta_2 d^2)$                               |
| 15 | $v = \beta_0 h + \beta_1 h \left(\frac{d}{200}\right)^2 + \beta_2 \left(\frac{d}{200}\right)^2$         |
| 16 | $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln(d + 20) + \beta_3 \ln h + \beta_4 \ln(h - 1,3)$          |

Для подтверждения адекватности построенных моделей проводился анализ регрессионных остатков. Важным этапом

являлось обнаружение гетероскедастичности, которая приводит к неэффективности оценок, полученных методом наименьших



квадратов, так как классическая оценка ковариационной матрицы МНК-оценок параметров является смещенной и несостоятельной. Детекция гетероскедастичности проводилась с использованием критерия Бройша-Пагана ( $\alpha = 0,05$ ). В случае, если выявлялся факт гетероскедастичности, для получения более точных и правильных статистических выводов использовались стандартные ошибки в форме Уайта.

Статистическая значимость параметров регрессии в случае гомоскедастичности ошибок оценивалась с использованием t-теста ( $\alpha = 0,05$ ), а в случае гетероскедастичности с **введением** поправки Уайта – с использованием z-теста ( $\alpha = 0,05$ ).

**Результаты и обсуждение.** Характеристики моделей объема стволов показаны в таблице 2. Для всех моделей, кроме модели № 1 ( $R^2 = 0,858$ ), не учитывающей нелинейность связи между диаметром на высо-

те груди с объемом ствола и высоты ствола с объемом, коэффициент детерминации ( $R^2$ ) находится в диапазоне от 0,964 до 0,997, а скорректированный коэффициент детерминации ( $\text{adj. } R^2$ ) – от 0,963 до 0,997. Модели № 4 и № 5, в которых в качестве переменной-предиктора используется только диаметр на высоте груди, характеризуются сравнительно низкими значениями коэффициента детерминации, равного 0,964 и 0,968 соответственно.

Среди моделей, представленных в таблице 1, по показателям  $R^2$ , MSE, AIC, BIC в качестве лучших можно выбрать модель № 2 ( $R^2 = 0,989$ ; MSE = 0,0023; AIC = -2226; BIC = -2208), модель № 3 ( $R^2 = 0,988$ ; MSE = 0,0024; AIC = -2199; BIC = -2190), модель № 13 ( $R^2 = 0,994$ ; MSE = 0,0023; AIC = -2233; BIC = -2215) и модель № 15 ( $R^2 = 0,993$ ; MSE = 0,0023; AIC = -2222; BIC = -2208).

Таблица 2

## Характеристика моделей объема стволов

| №  | Параметры   |             |             |             |             |            | $R^2$ | Adj. $R^2$ | MSE    | AIC   | BIC   |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------|------------|--------|-------|-------|
|    | $\beta_0$   | $\beta_1$   | $\beta_2$   | $\beta_3$   | $\beta_4$   | $\beta_5$  |       |            |        |       |       |
| 1  | -2,7095E-01 | 4,2464E-02  | -1,3209E-02 | -           | -           | -          | 0,858 | 0,857      | 0,0285 | -490  | -476  |
| 2  | -1,3501E-02 | 2,3280E-03  | 3,4000E-05  | -1,2600E-04 | -           | -          | 0,989 | 0,989      | 0,0023 | -2226 | -2208 |
| 3  | 1,0969E-02  | 3,6000E-05  | -           | -           | -           | -          | 0,988 | 0,988      | 0,0024 | -2199 | -2190 |
| 4  | -6,0302E-02 | 8,4000E-04  | -           | -           | -           | -          | 0,964 | 0,963      | 0,0073 | -1430 | -1421 |
| 5  | 2,2256E-02  | -9,4220E-03 | 1,0380E-03  | -           | -           | -          | 0,968 | 0,968      | 0,0064 | -1522 | -1508 |
| 6  | -9,7494E+00 | 9,5078E-01  | -           | -           | -           | -          | 0,996 | 0,996      | 0,0028 | -772  | -763  |
| 7  | -9,7768E+00 | 1,8733E+00  | 9,9211E-01  | -           | -           | -          | 0,996 | 0,996      | 0,0029 | -772  | -758  |
| 8  | -9,5768E+00 | 1,7097E+00  | 5,2041E-02  | 9,2063E-01  | -           | -          | 0,997 | 0,997      | 0,0029 | -959  | -941  |
| 9  | -9,1233E+00 | 1,9086E+00  | 5,6605E-02  | -9,2710E-03 | 2,3575E-01  | 1,3814E-01 | 0,997 | 0,997      | 0,0027 | -986  | -959  |
| 10 | -8,8770E+00 | 2,0470E+00  | -9,2040E-03 | 1,1044E-01  | 1,5164E-01  | -          | 0,997 | 0,997      | 0,0028 | -980  | -958  |
| 11 | -9,0550E+00 | 2,1124E+00  | 4,7843E-01  | -           | -           | -          | 0,992 | 0,992      | 0,0048 | -269  | -255  |
| 12 | 5,0901E-01  | 4,5744E-01  | -           | -           | -           | -          | 0,964 | 0,964      | 0,0024 | 1986  | 1996  |
| 13 | 4,7000E-05  | 1,5900E-04  | -4,0000E-06 | -1,4000E-05 | -           | -          | 0,994 | 0,994      | 0,0023 | -2233 | -2215 |
| 14 | 5,1007E-05  | -5,3213E-07 | 5,5832E-05  | -           | -           | -          | 0,994 | 0,994      | 0,0023 | -1905 | -1891 |
| 15 | 6,3700E-04  | 1,3174E+00  | 2,7405E+00  | -           | -           | -          | 0,993 | 0,993      | 0,0023 | -2222 | -2208 |
| 16 | -1,0479E+01 | 1,9507E+00  | 1,2110E-01  | 1,4806E+00  | -5,0027E-01 | -          | 0,997 | 0,997      | 0,0026 | -994  | -971  |

Модели в логарифмическом масштабе признаков и отклика нашли широкое применение в лесном хозяйстве: например, при моделировании объемов столов и при моделировании биомассы деревьев. При этом крайне редко используется обратное преобразование от логарифмической шкалы при оценке качества моделей. Весьма невелико количество исследований как в нашей стране, так и за рубежом, в которых для сравнения качества моделей рассчиты-

вается значение среднеквадратического отклонения в оригинальной шкале.

Отдельного внимания заслуживает коэффициент детерминации, часто используемый для сравнения моделей, который, как известно, имеет ограниченное применение в случае нелинейных моделей. В работе R. Anderson-Sprecher [12] отмечено, что широкое использование  $R^2$  неизбежно приводит к его ошибочному использованию на практике.

В нашем случае в список лучших не попала ни одна из моделей, в которой оценивание параметров осуществляется в логарифмическом масштабе, несмотря на то, что модели №№ 8-10 характеризуются достаточно высоким коэффициентом детерминации ( $R^2 = 0,997$ ). Значения MSE в масштабе исходных признаков находятся в диапазоне от 0,0027 до 0,0029, что несколько выше, чем у моделей, отобранных в качестве лучших.

Таким образом, в результате логарифмического преобразования произошло смещение оценок коэффициента детерминации. Коэффициент детерминации (индекс детерминации) в исходном масштабе приобретает следующие значения: модель № 8-0,986; модель № 9-0,987; модель № 10-0,986. При этом стоит отметить, что информационные критерии оказались более надежным средством для тестирования качества моде-

лей, так как позволяют учесть точность аппроксимации и сложность модели.

Несмотря на то, что модели с прологарифмированным откликом оказались несколько хуже, у них имеется важное преимущество над моделями, отобранными в качестве лучших. В моделях этого типа снижение точности аппроксимации компенсируется минимизацией относительных отклонений значений объемов для маломерных стволов.

Визуализация выявленных закономерностей показана на рисунке 3, где приводится сопоставление между фактическими объемами и объемами, рассчитанными по моделям, отобранным в качестве лучших. Несмотря на то, что значения критериев качества моделей являются достаточно близкими друг к другу, предсказанные значения отличаются.

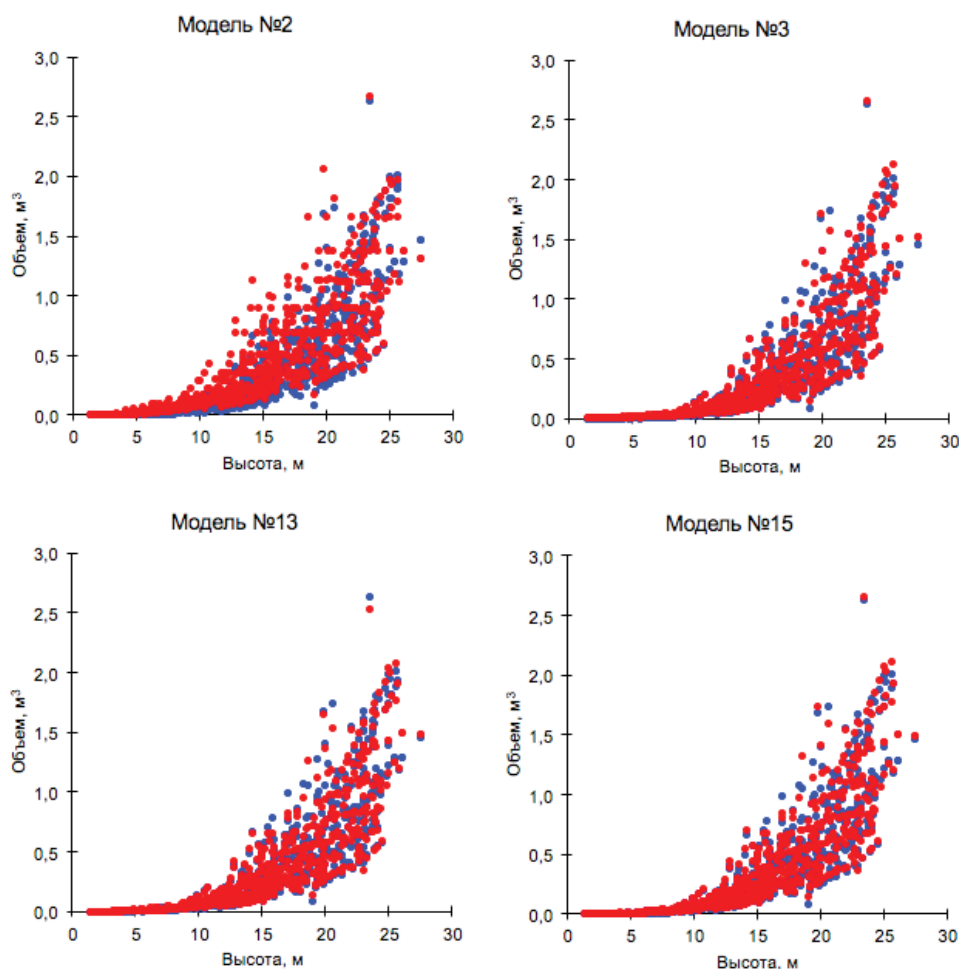


Рис. 3. Сравнение между фактическими объемами (синий цвет) и предсказанными по модели (красный цвет)

Для маломерных стволов отмечена некорректность предсказания объемов с использованием модели № 2. При диаметрах ствола на высоте груди меньше 3 см и высо-

те стволов меньше 3 м расчетные значения объемов оказываются меньше 0, что противоречит физическому смыслу рассматриваемой величины.

Для ствола с диаметром на высоте груди 20 см и с высотой 15 м значение объема, рассчитанное по модели № 2, составляет 0,3576 м<sup>3</sup>, по модели № 3-0,2270 м<sup>3</sup>, по модели № 13-0,2347 м<sup>3</sup>, по модели № 15-0,2346 м<sup>3</sup>. Разность между минимальным и максимальным предсказанными значениями составляет 0,1306 м<sup>3</sup>. Усредненное значение объема по модельным деревьям с заданными таксационными характеристиками составляет 0,2485 м<sup>3</sup>. Таким образом, в данном случае модель № 2 дает сильное завышение от истинного значения (44%). Объемы,

наиболее близкие к истинному значению, получены по моделям № 13 и № 15, которые дают наименьшее занижение ( $\approx 5,5\%$ ).

Сравнение значений объемов стволов кедров сибирского, полученных в результате расчетов по модели № 13, с данными, которые содержатся в таблицах других авторов, представляет существенный интерес. Сравнение проведено без учета разряда таблиц — по общности диаметров и близким значениям высот. Данные сравнения приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Сравнение объемов стволов кедров, полученных разными исследователями, с результатами расчета по модели № 13**

| Диаметр, см | М.В. Богдашин |                       |                                 |             | Е.В. Шульц |                       |                                 |             | Б.Я. Дуденков |                       |                                 |             | П.В. Горский |                       |                                 |             | З.Я. Нагимов с соавторами |                       |                                 |             |
|-------------|---------------|-----------------------|---------------------------------|-------------|------------|-----------------------|---------------------------------|-------------|---------------|-----------------------|---------------------------------|-------------|--------------|-----------------------|---------------------------------|-------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------|
|             | Высота, м     | Объем, м <sup>3</sup> | Объем по модели, м <sup>3</sup> | Различия, % | Высота, м  | Объем, м <sup>3</sup> | Объем по модели, м <sup>3</sup> | Различия, % | Высота, м     | Объем, м <sup>3</sup> | Объем по модели, м <sup>3</sup> | Различия, % | Высота, м    | Объем, м <sup>3</sup> | Объем по модели, м <sup>3</sup> | Различия, % | Высота, м                 | Объем, м <sup>3</sup> | Объем по модели, м <sup>3</sup> | Различия, % |
| 12          | 12            | 0,072                 | 0,073                           | 1,4         | 11,5       | 0,069                 | 0,071                           | 2,4         | 13,5          | 0,060                 | 0,080                           | 32,7        | 12           | 0,075                 | 0,073                           | -2,7        | 12                        | 0,030                 | 0,073                           | 143,4       |
| 16          | 14            | 0,149                 | 0,144                           | -3,5        | 13         | 0,140                 | 0,135                           | -3,4        | 15            | 0,140                 | 0,152                           | 8,5         | 14           | 0,150                 | 0,144                           | -4,1        | 14,3                      | 0,100                 | 0,146                           | 46,2        |
| 20          | 16            | 0,259                 | 0,248                           | -4,2        | 16,5       | 0,260                 | 0,254                           | -2,1        | 17            | 0,230                 | 0,261                           | 13,4        | 15,5         | 0,249                 | 0,241                           | -3,0        | 16                        | 0,186                 | 0,248                           | 33,3        |
| 24          | 17            | 0,400                 | 0,373                           | -6,8        | 18         | 0,402                 | 0,392                           | -2,5        | 18,5          | 0,385                 | 0,401                           | 4,2         | 16,5         | 0,382                 | 0,363                           | -5,0        | 17,4                      | 0,310                 | 0,380                           | 22,7        |
| 28          | 19            | 0,581                 | 0,555                           | -4,4        | 19         | 0,573                 | 0,555                           | -3,1        | 19,5          | 0,560                 | 0,568                           | 1,5         | 19,5         | 0,595                 | 0,568                           | -4,5        | 18,4                      | 0,470                 | 0,539                           | 14,8        |
| 32          | 20            | 0,803                 | 0,754                           | -6,1        | 20         | 0,778                 | 0,754                           | -3,1        | 20            | 0,764                 | 0,754                           | -1,3        | 20           | 0,790                 | 0,754                           | -4,6        | 19,2                      | 0,650                 | 0,726                           | 11,6        |
| 36          | 21            | 1,053                 | 0,990                           | -5,9        | 20,5       | 1,010                 | 0,968                           | -4,2        | 22,5          | 1,020                 | 1,058                           | 3,7         | 20,5         | 1,010                 | 0,968                           | -4,2        | 19,9                      | 0,850                 | 0,940                           | 10,6        |
| 40          | 22            | 1,330                 | 1,267                           | -4,7        | 21         | 1,260                 | 1,210                           | -4,0        | 23            | 1,300                 | 1,324                           | 1,8         | 21           | 1,270                 | 1,210                           | -4,7        | 20,5                      | 1,050                 | 1,181                           | 12,4        |
| 44          | 23            | 1,627                 | 1,587                           | -2,5        | 22         | 1,590                 | 1,517                           | -4,6        | 23,5          | 1,600                 | 1,622                           | 1,4         | 23,5         | 1,710                 | 1,622                           | -5,2        | -                         | -                     | -                               | -           |

Наименьшее расхождение объемов стволов, рассчитанных по модели № 13, получено с таблицами Е.В. Шульца (максимальное отклонение  $-4,6\%$ ), П.В. Горского (максимальное отклонение  $-5,2\%$ ) и М.В. Богдашина (максимальное отклонение  $-6,8\%$ ). Наибольшие различия выявлены с объемами стволов из таблицы, составленной З.Я. Нагимовым с соавторами [13], которая дает существенное занижение объемов стволов, что, вероятно, связано с недостаточным количеством использованных экспериментальных материалов (102 модельных дерева на 5 разрядов высоты). Случайный характер отклонений, выявленный при сопоставлении полученных нами объемов стволов кедров с данными других авторов, подтверждает принадлежность исходного материала, послужившего для составления всех сравниваемых таблиц, одной генеральной совокупности.

### Заключение

Полученные в результате исследования модели зависимости объема стволов сосны кедровой сибирской от диаметра на высоте груди и от высоты ствола могут быть использованы при составлении новых лесотаксационных нормативов: например, объемных таблиц. Описанные в работе методические приемы могут быть использованы при разработке моделей объемов стволов других древесных пород.

### Библиографический список

1. Третьяков Н.В., Горский П.В., Шульц В.Е. Справочник таксатора. Л.: Гослестехиздат, 1940. 393 с.
2. Анучин Н.П. Сортиментные и товарные таблицы для лиственницы, кедров и пихты. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1949. 84 с.
3. Нахабцев И.А. Опыт составления таблиц объемов, сортименто-сортных и товар-

ных для древостоев кедр сибирского района Восточных Саян // Сборник статей по обмену производственно-техническим опытом по лесному хозяйству и лесоустройству. Л.: ЛенНИИЛХ, 1961. С. 109-123.

4. Дударев А.Д., Косарев Н.Г., Липчанский М.С., Сивков В.Я. Объемные и сортиментные таблицы для сосны, пихты и кедр Алтайского края и Кемеровской области. Воронеж: ВГУ, 1973. 92 с.

5. Семечкин И.В. Возрастная структура и динамика кедровых древостоев Сибири: Дис. д-ра сельскохозяйственных наук. Красноярск, 2001. 349 с.

6. Заварзин В.В., Лебедев А.В. Форма и объем стволов кедр сибирского // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2016. № 2. С. 44-52.

7. Vibrans A.C., Moser P., Oliveira L.Z., Maçaneiro J.P. Generic and specific stem volume models for three subtropical forest types in southern Brazil // Annals of Forest Science. 2015. № 6(72). P. 865-874.

8. Усольцев В.А. Фитомасса модельных деревьев для дистанционной и наземной таксации лесов Евразии: Электронное издание на русском языке / В.А. Усольцев; Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург, 2016 // <http://www.twirpx.com/file/1593351/>

9. Климов А.Г., Кузьмичев В.В. Объемы маломерных стволов сосны обыкновенной в Читинской области // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2005. № 10. С. 27-30.

10. Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R., Mencuccini M. Biomass and stem volume

equations for tree species in Europe. Silva Fennica Monographs, 2015. 63 p.

11. Brandel G. Volume Functions for Individual Trees, Scots Pine (*Pinus sylvestris*), Norway Spruce (*Picea abies*) and Birch (*Betula pendula* & *Betula pubescens*). In Rapport-Institutionen för Skogsproduktion, Sveriges Lantbruksuniversitet // Swedish University of Agricultural Sciences: Garpenberg, Sweden. 1990.

12. Anderson-Sprecher R. Model comparisons and  $R^2$  // The American Statistician. 1994. № 2(48). P. 113-117.

13. Нагимов З.Я. Таблицы объемов стволов и хлыстов кедр Белоярского лесхоза Ханты-Мансийского национального округа // Леса Урала и хозяйство в них: Сб. науч. тр. Вып. 22. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. С. 111-115.

Материал поступил в редакцию 21.02.2017 г.

#### Сведения об авторах

**Заварзин Виктор Владимирович**, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и мелиорации ландшафтов ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: +7-499-976-14-78

**Лебедев Александр Вячеславович**, ассистент кафедры лесоводства и мелиорации ландшафтов ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: +7-499-976-14-78; e-mail: avl1993@mail.ru

**V.V. ZAVARZIN, A.V. LEBEDEV**

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after K.A. Timiryazev», Russia, Moscow

## CONCERNING THE SIMULATION METHOD OF TRUNKS VOLUME BY THE EXAMPLE OF THE SIBERIAN CEDAR PINE (*PINUS SIBIRICA*)

*The study was conducted with the purpose of selection and substantiation of the models that best describe the dependence of the volume from the diameter on the breast height (dbh) and height of the trunk. In total we used the data on 689 model trees of the Siberian cedar pine (*Pinus sibirica*) selected in the middle Urals, Western and Eastern Siberia. As a result of the analysis of the literary sources we selected 16 types of mathematical models. Values of model parameters were determined by the method of least squares. Assessment of the models quality was carried out according to indicators such as determination coefficient ( $R^2$ ), adjusted determination coefficient (Adj.  $R^2$ ), root mean square error (RMS) and information criteria (AIC and BIC). The models widely used in forestry in the logarithmic scale which often are used to model trunk volumes and trees biomass appeared to be slightly worse than the models in which the response is used in the initial scale despite the fact that in the straightened logarithmic feature space models are characterized by a high value of determination coefficient ( $R^2 = 0.997$ ). The value MSE for the models selected as the best ones is 0.0023 and for the models with the MSE logarithmic transformation in the original scale is in the range of p from 0.0027 to 0.0029. To compare*



*the quality of models it is recommended to use not only the coefficient of determination, but also the information criteria. Revealed the regularities can be the basis for new forest inventory standards and the proposed methodological approaches can be used to model the trunks volume of other tree species.*

*Volume of trunk, Siberian pine, cedar, forest inventory, modeling, coefficient of determination, information criteria.*

### References

1. Tret'yakov N. V., Gorsky P.V., Shul'ts V.E. Spravochnik taksatora. L.: Goslestehizdat, 1940. 393 s.
2. Anuchin N.P. Sortimentnye i tovarnye tablitsy dlya listvennitsy, kedra i pithy. M. – L.: Goslesbumisdat, 1949. 84 s.
3. Nahabtshev I.A. Opyt sostavleniya tablits ob'emov, sortimentno-sortnyh i tovarnyh dlya drevostoev kedra sibirskogo rajona Votchnykh Sayan // Sbornik statej po obenu proizvodstvenno-tehnicheskim opytom po lesnomu hozyajstvu I lesoustrojstvu. L.: LenNIILH, 1961. S. 109-123.
4. Dudarev A. D., Kosarev N.G., Lipchanskij M.S., Sivkov V.Ya. Objemnye i sortimentnye tablitsy dlya sosny, pithy i kedra Altajskogo kraja I Kemerskoj oblasti. Voronezh: VGU, 1973. 92 s.
5. Semechkin I.V. Vozrastnaya struktura i dinamika kedrovyyh drevostoev Sibiri: Dis. D-ra sel'skokhozyajstvennykh nauk. Krasnoyarsk, 2001. 349 s.
6. Zavarzin V. V., Lebedev A.V. Forma i ob'em stvolov kedra sibirskogo // Vestnik MGUL – Lesnoj vestnik. 2016. № 2. S.44-52.
7. Vibrans A.C., Moser P., Oliveira L.Z., Maçaneiro J.P. Generic and specific stem volume models for three subtropical forest types in southern Brazil // Annals of Forest Science. 2015. № 6(72). P. 865-874.
8. Usoltsev V.A. Fitomassa modelnykh derev'ev dlya distantsionnoj I nazemnoj taksatsii lesov Evrazii: Elektronnoe izdanie na russkom yazyke / V.A. Usoltsev; Ural. gos. lesotehn. un-t. Yekaterinburg, 2016 // <http://www.twirpx.com/file/1593351/>
9. Klimov A. G., Kuz'michev V.V. Ob'emy malomernykh stvolov sosny obyknovennoy v Chitinskoj oblasti // Aktualnyye problemy lesnogo kompleksa. 2005. № 10. S. 27-30.
10. Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R., Mencuccini M. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. Silva Fennica Monographs, 2015. 63 p.
11. Brandel G. Volume Functions for Individual Trees, Scots Pine (*Pinus sylvestris*), Norway Spruce (*Picea abies*) and Birch (*Betula pendula* & *Betula pubescens*). In Rapport-Institutionen för Skogsproduktion, Sveriges Lantbruksuniversitet // Swedish University of Agricultural Sciences: Garpenberg, Sweden. 1990.
12. Anderson-Sprecher R. Model comparisons and  $R^2$  // The American Statistician. 1994. № 2(48). P. 113-117.
13. Nagimov Z.Ya. Tablitsy ob'emov stvolov I hlystov kedra Beloyarskogo leskhozha Hanty-Mansijskogo natsionalnogo okruga // Lesa Urala I hozyajstvo v nih: Sb. Nauch. tr. Vyp. 22. Yekaterinburg: Ural. gos. lesotehn. un-t, 2002. S. 11-115.

The material was received at the editorial office  
21.02.2017

### Information about the authors

**Zavarzin Victor Vladimirovich**, candidate of agricultural sciences, professor of the chair of forestry and reclamation of landscapes FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d. 49; tel.: +7-499-976-14-78

**Lebedev Alexandr Vyacheslavovich**, assistant of the chair of forestry and reclamation of landscapes FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d. 49; tel.: +7-499-976-14-78; e-mail: avl1993@mail.ru

УДК 502/504:630\*17:582.475.4 (470.57)

И.Р. РАХМАТУЛЛИНА<sup>1</sup><sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», г. Уфа, Российская ФедерацияЗ.З. РАХМАТУЛЛИН<sup>2</sup>, Э.Р. ЛАТЫПОВ<sup>2</sup><sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа, Россия

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ И АНАЛИЗ ВКЛАДА ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКОБОНИТЕТНЫХ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В ПРОГРАММЕ МАХЕНТ (НА ПРИМЕРЕ БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕЕВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ В ПРЕДЕЛАХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН)

В программе MaxEnt (*Maximum Entropy Species Distribution Modelling*) смоделировано пространственное распространение условий для формирования высокобонитетных сосновых насаждений Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Исходными материалами для построения факторов среды послужили климатические данные WorldClim, производные растры, полученные по цифровой модели рельефа SRTM-3, региональные почвенные карты и векторные слои дорог из OpenStreetMap. Местоположения высокобонитетных сосняков определены по материалам лесоустройства и космическому снимку Landsat 8 OLI. Манипуляции с векторными и растровыми слоями осуществлялись в программных продуктах со свободной лицензией SAGA GIS и QGIS. Расчетная модель демонстрирует приемлемое качество – значение AUC (*area under receiver operating characteristic (ROC) curve* – площадь под ROC-кривой) составила 0,78 ед. По результатам моделирования выделены три зоны концентрации оптимальных условий, самая крупная из них на севере возвышенности – в Бакалинском и Шаранском районах, поменьше – в центрально-западной (Туймазинский район) и центрально-восточной (Белебеевский район) частях возвышенности. Общая площадь сосняков с бонитетами 1А и 1Б – 5,5 тыс. га, благоприятные условия для их роста моделируются на площади 14,8 тыс. га. Определяющее влияние в расчетной модели принадлежит факторам «Максимальная температура наиболее теплого месяца» (вклад – 47,0%), «Топографический индекс влажности» (вклад – 14,5%) и «Среднесуточная температурная амплитуда» (вклад – 10,9%). Значимость этих факторов согласуется с данными литературы по экологии сосновых насаждений. Выявленные местоположения с лучшими прогнозными условиями могут служить дополнительным обоснованием при создании высокопроизводительных лесных культур сосны.

*Высокобонитетные сосняки, факторы среды, биоклиматические данные, цифровая модель рельефа, почвы, близость дорог, важность при пермутации.*

**Введение.** Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – одна из наиболее хозяйственно ценных лесобразующих древесных пород, отличающаяся неприхотливостью к лесорастительным условиям, относительно быстрым ростом и большими запасами стволовой древесины в условиях Республики Башкортостан. На Бугульминско-Белебеевской возвышенности имеются уникальные высокопроизводительные сосняки, выполняющие разнообразные экологические функции. Значительные площади сосновых монокультур создавались в рамках облесения крутосклонных и эродированных земель в 70-90-е гг. прошлого века.

Несмотря на распространенность сосны в антропогенно трансформированных экотопах и высокую устойчивость к действию экологических факторов развитие насаждений во многом определяется особенностями условий произрастания [1, 2]. Вид находится в равновесии с окружающей средой и наибольшей продуктивности достигает там, где климатические, ландшафтные и прочие условия наиболее благоприятны для него. Проанализировать вклад этих факторов можно в ходе моделирования экологической ниши как многомерного объекта в пространстве осей переменных факторов

среды, потенциально определяющих свойства исследуемых объектов [3].

В ходе практических апробаций моделирования экологической ниши построением моделей ареалов большую популярность приобретает метод максимальной энтропии [4, 5], в частности, реализованный в программе MaxEnt (Maximum Entropy Species Distribution Modelling), как один из эффективных методов моделирования распределения видов на основании данных только о присутствии вида [3, 6].

Суть моделирования состоит в следующем. Для «точек присутствия» вида рассчитывается распределение значений факторов среды. На основе их анализа присуждаются «веса» факторам и строится модель ареала. Далее выявляются участки местности с характеристиками, удовлетворяющими модели, и экстраполируется вероятность обнаружения вида на анализируемой территории. Принцип максимальной энтропии предусматривает, что в дискретных распределениях энтропия максимальна, когда все случаи равновероятны, для биномиального распределения вероятность  $p = 0,5$ . Моделирование начинается с равновероятного распределения, затем постепенно уточняется в зависимости от введенных ограничений – факторов среды [4, 5].

Ввиду того, что сосняки возвышенности на 90% являются лесными культурами, применение к ним механизма моделирования экологической ниши построением модели ареала является не совсем корректным. Поэтому применительно к ним предлагается входные данные: «точки присутствия» вида заменить координатными точками только высокобонитетных сосняков как наиболее отзывчивых на факторы среды. Тогда результаты моделирования MaxEnt покажут рассчитанную вероятность благоприятных условий для формирования высокобонитетных сосняков, а значит, и наиболее пригодные для посадки и выращивания искусственных насаждений.

Цель исследования – создать модель пространственного распространения условий для роста высокобонитетных сосняков Бугульминско-Белебеевской возвышенности в программе MaxEnt и проанализировать ее результаты.

**Материал и методы.** В работе использована программа MaxEnt версии 3.3.3k [7]. Моделирование проводилось с параметрами, установленными по умолчанию. Для статисти-

стической оценки использован показатель AUC (area under receiver operating characteristic (ROC) curve – площадь под ROC-кривой). AUC измеряет способность модели различать места, где вид присутствует или отсутствует. Его значения изменяются от 0 до 1, при этом 1 означает полную дискриминацию, 0,5 – на уровне случайной. Оценка влияния факторов проводилась по параметру «Важность при пермутации» (permutation importance), по которому вклад каждой переменной определяется посредством случайного изменения её значений и измерения уменьшения AUC. Значительное уменьшение свидетельствует о сильной зависимости модели от данного фактора [4, 5].

Для построения переменных, описывающих морфометрические характеристики рельефа, была использована глобальная цифровая модель рельефа (ЦМР), полученная в результате радиолокационной съемки Shuttle radar topographic mission (SRTM), с пространственным разрешением «3 x 3 угловые секунды» [8]. В программе SAGA GIS – System for Automated Geoscientific Analyses [9] – была произведена обработка ЦМР, преобразование географической системы координат в прямоугольную и построение растровых карт. Среди них для моделирования отобраны гипсометрическая карта, экспозиции склонов и топографического индекса влажности.

Для построения переменных, описывающих климатические градиенты, использована база глобальных климатических данных «WorldClim» с разрешением 1 км [10]. Из этой базы были получены 19 биоклиматических переменных, из которых исключены наиболее коррелируемые (коэффициент корреляции  $r > 0,7$ ) с гипсометрической картой и между собой. В итоге оставлены среднесуточная амплитуда, максимальная температура наиболее теплого месяца, количество осадков в наиболее сухой месяц.

Для отображения особенностей почвенного покрова были отобраны данные о типах почв, гранулометрическом составе и мощности гумусового горизонта из атласа Республики Башкортостан [11]. Эти карты сначала были векторизованы в виде полигональных объектов. В их атрибутах прописывались порядковые номера почв, которые затем в процессе растеризации присваивались каждой ячейке.

В качестве фактора антропогенной нагрузки выбран показатель близости дорог



федерального, регионального и районного значений. Растр близости был построен при помощи инструмента «Proximity» (Raster Distance) в программе QGIS [12]. Данные о дорогах были загружены из базы данных OpenStreetMap [13] с использованием QuickOSM Plugin для QGIS.

Все растры проверялись на мультиколлинеарность с помощью создания

7,6 тыс. рандомизированных векторных точек с атрибутами растровых карт, которые анализировались в Microsoft Excel с помощью инструмента Correlation. Редуцированные градиенты среды (рис. 1) преобразованы в формат Arc/Info ASCII Grid с едиными географическими характеристиками (система координат, экстенд, размер пикселя).

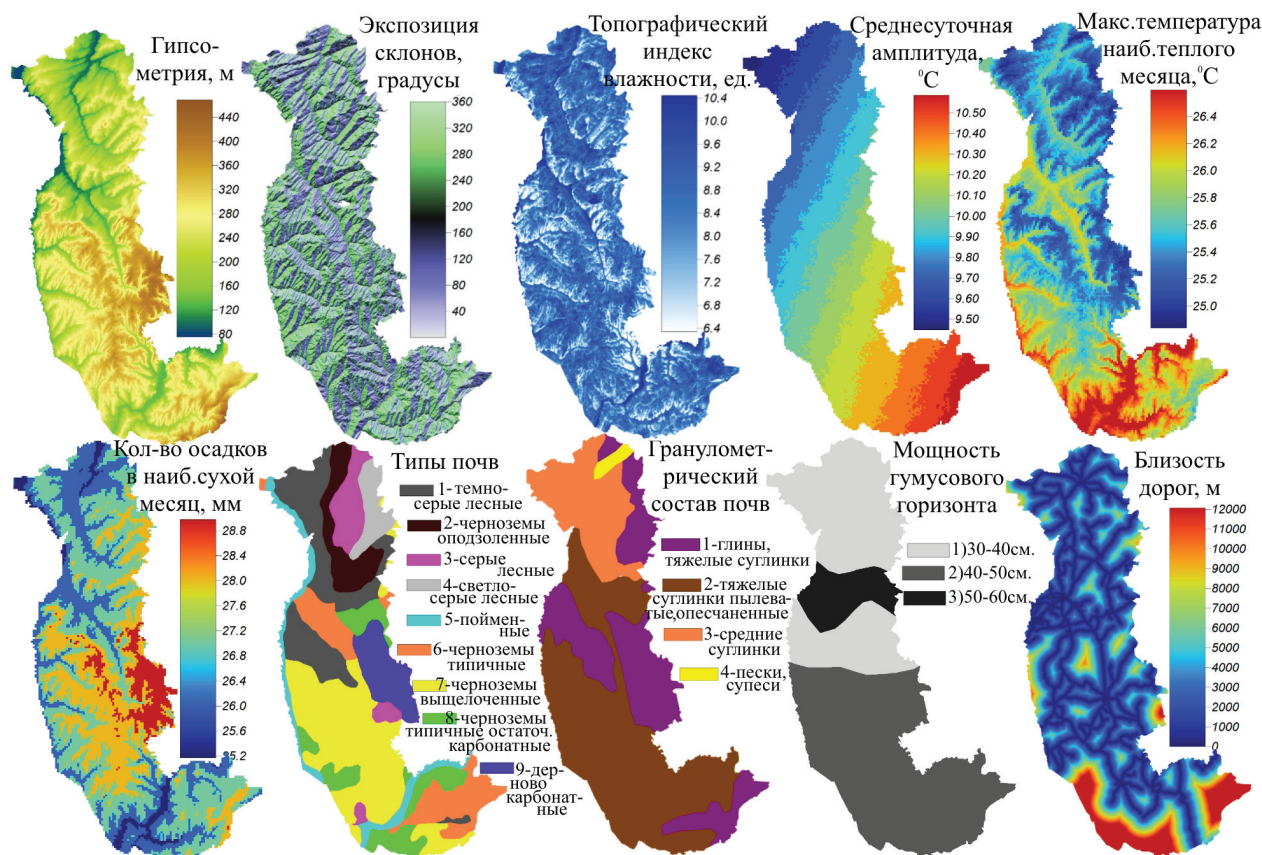


Рис. 1. Факторы среды, используемые при моделировании

Местоположения высокобонитетных сосновых насаждений отобраны по результатам лесоинвентаризации – таксационных описаний 28 участков лесничеств. С помощью конструктора запросов в QGIS отобраны выделы, в которых в качестве главной породы выступает сосна с бонитетами 1А и 1Б. Эти полигональные векторные слои преобразованы в точечные с плотностью одна точка на один пиксель карт переменных среды. Чтобы исключить точки, которые не являются сосной в смешанных по составу выделах, была осуществлена следующая работа. Из архива Геологической службы США (USGS) [14] был загружен снимок Landsat 8 от 25.05.2016 г. с пространственным разрешением 30 м/пиксель. К нему была применена радиометрическая коррекция (инструмент Top of Atmosphere

Reflectance SAGA GIS), и на территории лесного фонда осуществлена неуправляемая классификация изображения алгоритмом ISODATA с выделением 10 классов, 2 из которых интерпретированы как хвойные. Геометрическое пересечение «хвойных», полученных по космическому снимку, и «сосняков с бонитетами 1А и 1Б», отобранных по таксационным описаниям, дало «точки присутствия» высокобонитетных сосняков без смешения с другими породами, позволило устранить погрешности при векторизации лесохозяйственных выделов и учесть изменения, произошедшие после лесоустройства.

**Результаты и обсуждение.** Расчетная модель распространения условий для роста высокобонитетных сосняков демонстрирует приемлемое качество: значение



AUC составило 0,78. Это свидетельствует о надежности модели [4] и означает 78%-ную вероятность того, что места, где предсказаны лучшие или худшие условия, реально являются таковыми. По результатам моделирования выделяются три зоны концентрации оптимальных условий: самая крупная – на севере, поменьше – в центрально-западной и центрально-восточной

частях возвышенности (рис. 2). В разрезе административных районов наиболее благоприятные условия моделируются в Бакалинском районе на площади свыше 11 тыс. га, в т.ч. на 1,4 тыс. га – с высокой вероятностью ( $p > 0,75$ ). Это согласуется с реальной обстановкой: здесь наибольшая доля высокобонитетных сосняков – 32% от всей площади сосновых насаждений.

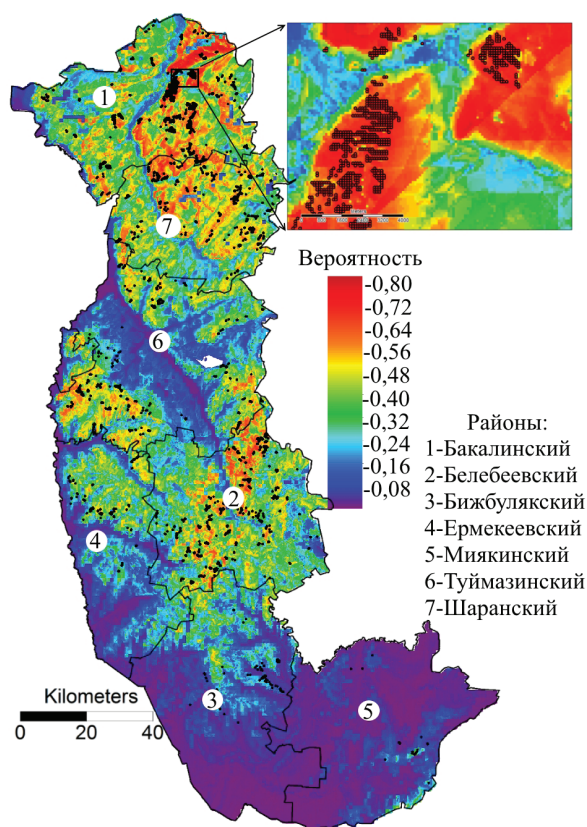


Рис. 2. Вероятность подходящих условий для роста высокобонитетных сосняков (черными кружками обозначены «точки присутствия»)

В Белебеевском районе отмечаются наибольшие площади сосновых насаждений – 10,5 тыс. га. Высокобонитетными среди них являются 10%, и эту площадь, исходя из результатов моделирования, можно увеличить вдвое. В Шаранском районе сосняков поменьше, доля высокобонитетных – 29%, наблюдается возможность их увеличения наполовину. В Туймазинском районе имеются 8,6 тыс. га сосняков, из них высокобонитетных – 10%. Но по сочетанию факторов благоприятные условия моделируются всего на 0,2 тыс. га, что значительно меньше реальных площадей. В Бижбулякском, Ермекеевском и Миякинском районах доли сосняков, в том числе и высокобонитетных, незначительны, отчасти поэтому здесь моделируются неблагоприятные условия. В це-

лом по возвышенности сосняков с бонитетами 1А и 1Б – 5,5 тыс. га, площадь участков с благоприятными условиями для их роста составляет 14,8 тыс. га.

Наибольшее влияние в расчетной модели принадлежит биоклиматическому фактору «Максимальная температура наиболее теплого месяца», его вклад по пермутационному тесту составляет 47,0%. Значительное влияние фактора объясняется тем, что градиент его значений совпадает с характером общих изменений погодноклиматических условий, а именно с повышением температуры и уменьшением количества осадков с севера возвышенности на юг и с пониженных участков к водораздельным линиям. Значимость климатических факторов согласуется с данными литера-

туры, в которых отмечается тесная связь радиального прироста древостоев сосны с погодными условиями, в первую очередь – с температурой воздуха [15]. Из графика отклика (рис. 3) следует, что благоприятные лесорастительные условия складываются на территориях с узким диапазоном этого фактора – 25,1-25,6°C. Такие условия характерны для 38% территории возвышенности.

Температура вне этого диапазона снижает вероятность роста высокопродуктивных сосняков. Если влияние высоких температур проявляется ухудшением роста древостоев, то отрицательное воздействие относительно низких значений скорее всего объясняется тем, что на возвышенности участков с температурой 24,8-25,1°C всего 3%, и поэтому здесь просто нет «точек присутствия».

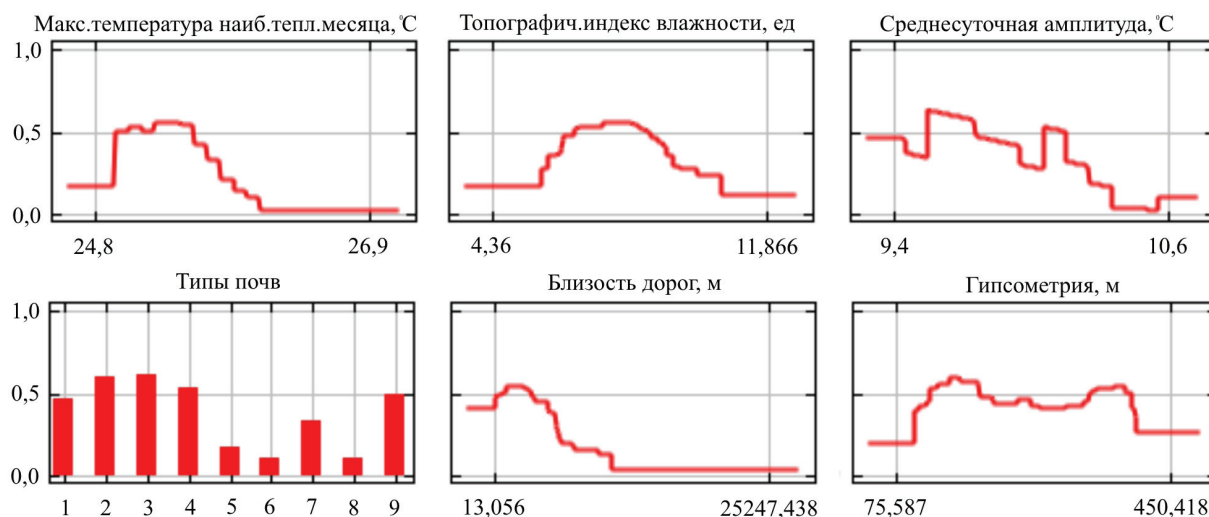


Рис. 3. Графики откликов «точек присутствия» высокобонитетных сосняков на факторы среды (обозначение типов почв приведено на рисунке 1)

Вклад еще одного биоклиматического фактора – среднесуточная амплитуда – составляет 10,9%. Его график показывает устойчивую тенденцию: с увеличением разницы дневной и ночной температуры вероятность формирования высокобонитетных древостоев падает.

Вторая по значимости переменная среды, выявленная при пермутационном тесте, – топографический индекс влажности (TWI) с вкладом 14,5%. Экологический оптимум увлажнения складывается в интервале 6,5-8,5 ед. Сосна переносит увлажнение, но в этих условиях снижается ее прирост и производительность [15]. С действием TWI схожим является влияние гипсометрии (вклад в модель – 4,3%). Низкие высоты приурочены к поймам рек, высокие – к пикам, ветроударным склонам, водораздельным линиям, на которых складываются неблагоприятные климатические и почвенные условия.

Из представленных типов почв (вклад фактора – 8,4%) наибольшую вероятность высокого бонитета иллюстрируют черноземы оподзоленные, серые-лесные и светло-серые лесные почвы. Бонитет сосняков на темно-серых и дерново-карбонатных типах характеризуется максимальной неопре-

деленностью с вероятностью:  $p = 0,5$ . Вклад таких эдафических факторов, как гранулометрический состав почв и мощность гумусового горизонта, составляет менее 2,4%. Это подтверждает то, что сосна обыкновенная относится к пластичной породе и не является требовательной к плодородию почв, способна существовать в весьма трудных условиях, обходясь односторонне развитой корневой системой, использующей сравнительно небольшой объем почвы [2].

Вклад антропогенного фактора, выраженного через близость к автомобильным дорогам, составляет 8,1%. Благоприятные условия смоделированы на участках, удаленных от дорог на 1,5-3,5 км. Более близкое соседство характеризуется различными видами загрязнений, что вместе с высокой газопоглотительной способностью сосны негативно сказывается на ее росте. На участках с транспортной недоступностью (удаленность – 3,6-25,8 км) малая вероятность связана с трудностью при посадке и уходе за лесными культурами и расположением этих участков на южных границах возвышенности, где лимитирующими выступают другие факторы среды, рассмотренные выше.

### Выводы

Результаты моделирования на основе корреляций местоположения высокобонитетных сосняков с биоклиматическими, почвенными, орографическими и антропогенными факторами по методу максимальной энтропии выглядят вполне приемлемыми. Снижение показателя AUC до 0,78, может быть следствием неучтенных факторов: например, не удалось отразить качество и своевременность рубок ухода за лесом, избежать высокой генерализованности почвенных карт. Однако основные переменные среды, которые оказывают влияние на рост и развитие лесных насаждений, рассмотрены. Главными из них оказались температура и влажность, выраженные через максимальную температуру наиболее теплого месяца, среднесуточную амплитуду и топографический индекс влажности.

Площадь выделенных зон с лучшими прогнозными условиями в 2,4 раза больше существующих площадей высокобонитетных сосняков, что служит теоретическим обоснованием создания на территории Бугульминско-Белебеевской возвышенности лесных культур сосны и получения в будущем высокопродуктивных искусственных насаждений.

### Библиографический список

- Кулагин Ю.З. Хвойные лесообразователи и экологическое прогнозирование // Экология хвойных. Уфа: БФАН, 1978. С. 5-21.
- Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю. Сосна обыкновенная и нефтехимическое загрязнение: дендрэкологическая характеристика, адаптивный потенциал и использование. М.: Наука, 2006. 124 с.
- Пузаченко Ю.Г., Кузьмин С.Л., Сандлерский Р.Б. Количественная оценка параметров ареалов (на примере представителей рода *Rana*) // Журнал общей биологии. 2011. Т. 72. № 5. С. 339-354.
- Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // Ecological Modeling. 2006. V. 190. P. 231-259.
- Phillips S.J., Dudic M. Modelling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation // Ecography. 2008. V. 31. P. 161-175.
- Дудов С.В. Моделирование распространения видов по данным рельефа и дистанционного зондирования на примере сосу-  
дистых растений нижнего горного пояса хр. Тукуринга (Зейский заповедник, Амурская область) // Журнал общей биологии. 2016. Т. 77. № 1. С. 16-28.
- Maxent software for species habitat modeling. V. 3.3.3k [Электронный ресурс] // URL: <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/> (дата обращения: 07.02.2017 г.).
- CGIAR-CSI SRTM 90m DEM Digital Elevation Database [Электронный ресурс] // URL: <http://srtm.csi.cgiar.org/> (дата обращения: 28.10.2016 г.).
- SAGA – System for Automated Geoscientific Analyses. V. 3.0.0 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.saga-gis.org/en/index.html> (дата обращения: 20.11.2016 г.).
- WorldClim – Global Climate Data. Free climate data for ecological modeling and GIS [Электронный ресурс] // URL: <http://www.worldclim.org/bioclim> (дата обращения: 07.02.2017 г.).
- Атлас Республики Башкортостан [Карты]. Уфа, 2005. 420 с.
- QGIS. V. 2.18.2 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.qgis.org/ru/site/> (дата обращения: 28.10.2016 г.).
- OpenStreetMap [Электронный ресурс] // URL: <http://openstreetmap.org> (дата обращения: 28.10.2016 г.).
- EarthExplorer [Электронный ресурс] // URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 28.10.2016 г.).
- Основы лесной биогеоценологии / Под ред. В.Н. Сукачева, Н.В. Дылиса. М., 1964. 574 с.

Материал поступил в редакцию 19.03.2017 г.

### Сведения об авторах

**Рахматуллина Ирина Римилевна**, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры экологии и природопользования ФГБОУ ВО «БГПУ им. М. Акмуллы»; Россия, 450000, г. Уфа, ул. Октябрьской революции, 34; e-mail: [rahmat\\_irina@mail.ru](mailto:rahmat_irina@mail.ru)

**Рахматуллин Загир Забирович**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ»; Россия, 450001, г. Уфа, ул. 50 лет Октября, 34; e-mail: [zagir1983@mail.ru](mailto:zagir1983@mail.ru)

**Латыпов Эльдар Рафилевич**, аспирант ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ»; Россия, 450001, г. Уфа, ул. 50 лет Октября, 34.

**I.P. RAKHMATULLINA<sup>1</sup>**

Federal state budgetary educational institution of higher education «Bashkir state pedagogical university named after M. Akmully», Ufa, Russian Federation

**Z.Z. RAKHMALULLIN<sup>2</sup>, E.R. LATYPOV<sup>3</sup>**

Federal state budgetary educational institution of higher education «Bashkir state agrarian university», Ufa, Russian Federation

## **SIMULATION OF GROWING CONDITIONS AND ANALYSIS OF FACTORS CONTRIBUTION IN FORMATION OF HIGH BONITET PLANTINGS OF PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) IN THE PROGRAM MAXENT (BY THE EXAMPLE OF THE BUGULMINSKO-BELEBEEVSKY UPLAND WITHIN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN**

*In the program MaxEnt (Maximum Entropy Species Distribution Modeling) spatial distribution of conditions is simulated for formation of highly bonitetny pine plantations on the territory of the Bugulminsko-Belebeevsky upland. The initial materials for building environmental factors were the WorldClim data, derivative rasters obtained according to the relief model SRTM-3, regional soil maps and vectorial road layers from OpenStreetMap. The location of highly bonitet pine plantations are defined according to the materials of forest management and satellite image of Landsat 8 OLI. Manipulations with vector and raster layers were carried out in the software with a free license SAGA GIS and QGIS. The rated model shows the acceptable quality – AUC value (area under receiver operating characteristic (ROC) curve is 0.78 units. According to the simulation results three areas of concentration of optimum conditions were singled out, the largest one is in the Northern part of the upland – in Bakalinsky and Sharansky districts, the smaller ones are – in the Central-Western (Tuimazinsky district) and Central- Eastern part (Belebeevsky district) of the upland. The total area of pine forests with bonitets 1A and 1B – 5.5 thousand hectares, favorable conditions for their growth are simulated on the area 14.8 thousand ha. The determining influence in the rated model belongs to the factors «Max temperature of the warmest month (contribution is 47.0%). «Topographic humidity index» (contribution is 14.5%) and «Average temperature amplitude» (contribution is 10.9%). The value of these factors agrees with the literature data on the ecology of pine plantations. The identified locations with the best predicted conditions may serve as an additional substantiation when creating of highly productive pine forest crops.*

*High bonitet pine forests, environmental factors, bioclimatic data, digital relief model, soil, closeness to roads, importance at permutation.*

**References**

1. Kulagin Yu.Z. Hvoynye lesoobrazovateli i ekologicheskoe prognozirovanie // *Ecologiya hvoynyh*. Ufa: BFAN, 1978. S. 5-21.
2. Zaitsev G.A., Kulagin A.Yu. Sosna obyknovennaya i neftehimicheskoe zagryaznenie: dendroecologicheskaya harakteristika, adaptivny potentsial i ispolzovanie. M.: Nauka, 2006. 124 s.
3. Puzachenko Yu.G., Kuzjmin S.L., Sandler-sky R.B. Kolichestvennaya otsenka parametrov arealov (na primere predstavitelej roda Rana) // *Zhurnal obshchej biologii*. 2011. T. 72. № 5. S. 339-354.
4. Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // *Ecological Modeling*. 2006. V. 190. P. 231-259.
5. Phillips S.J., Dudic M. Modelling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation // *Ecography*. 2008. V. 31. P. 161-175.
6. Dudov S.V. Modelirovanie rasprostraneniya vidov po dannym reljefa i distantsionnogo zondirovaniya na primere sosudistyh rastenij nizhnego gornogo poyasa hr. Tukuringa (Zejsky zapovednik, Amurskaya oblastj) // *Zhurnal obshchej biologii*. 2016. T. 77. № 1. S. 16-28.
7. Maxent software for species habitat modeling. V. 3.3.3k [Electronny resurs] // URL: <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/> (data obrashcheniya: 07.02.2017 g.).
8. CGIAR-CSI SRTM 90m DEM Digital Elevation Database [Electronny resurs] // URL: <http://srtm.csi.cgiar.org/> (дата обращения: 28.10.2016 g.).
9. SAGA – System for Automated Geoscientific Analyses. V. 3.0.0 [Electronny resurs] // URL: <http://www.saga-gis.org/en/index.html> (data obrashcheniya: 20.11.2016 g.).
10. WorldClim – Global Climate Data. Free climate data for ecological modeling and GIS [Electronny resurs] // URL: <http://www.worldclim.org/>



worldclim.org/bioclim (data obrashcheniya: 07.02.2017 g.).

11. Atlas Respubliki Bashkortostan [Karty]. Yfa, 2005. 420 s.

12. QGIS. V. 2.18.2 [Electronny resurs] // URL: [http://www.qgis.org/ru/site/\(data obrashcheniya: 28.10.2016 g.\)](http://www.qgis.org/ru/site/(data obrashcheniya: 28.10.2016 g.)).

13. OpenStreetMap [Electronny resurs] // URL: <http://openstreetmap.org> (data obrashcheniya: 28.10.2016 g.).

14. EarthExplorer [Electronny resurs] // URL: [https://earthexplorer.usgs.gov/\(data obrashcheniya: 28.10.2016 r.\)](https://earthexplorer.usgs.gov/(data obrashcheniya: 28.10.2016 r.)).

15. Osnovy lesnoj biogeotsenologii / Pod red. V.N. Sukacheva, N.V. Dylisa. M., 1964. 574 s.

The material was received at the editorial office  
19.03.2017

#### Information about the authors

**Rahmatullina Irina Rimilevna**, candidate of biological sciences, senior lecturer of the chair of ecology and environmental engineering FSBEI HE «BSPU named after M. Akmully»; Russia, 450000, Ufa, ul. Oktyabrskoj revolyutsii 3a; e-mail: rahmat\_irina@mail.ru

**Rahmatullin Zagir Zabirovich**, candidate of agricultural sciences, associate professor of the chair of forestry and landscape design FSBEI HE «Bashkirsky SAU»; Russia, 450001, Ufa, ul. 50 let Oktyabrya, 34; e-mail: zagir1983@mail.ru

**Latypov Eljdar Rafiljevich**, post graduate student «Bashkirsky SAU»; Russia, 450001, Ufa, ul. 50 let Oktyabrya, 34; e-mail: zagir1983@mail.ru

УДК502/504: 630\*17:582.475.2 (470.311)

**В.К. ХЛЮСТОВ, Н.В. КОРЕШКОВ**

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

## СИСТЕМАТИЗАЦИЯ РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУР ЛИСТВЕННОЙ СИБИРСКОЙ (*LARIX SIBIRICA*)

Цель работы заключается в выявлении закономерностей возрастной динамики таксационных показателей роста и продуктивности географических культур лиственницы сибирской, достигших 60-летнего возраста, в условиях мезофильных (свежих) сложных суборей (С<sub>з</sub>). Объекты представлены 14 экотипами лиственницы с начальной густотой посадки 2-летними сеянцами в количестве 8 тыс. шт/га. Возрастная динамика роста и продуктивности экотипов лиственницы описана многомерной асинхронно динамической моделью, сочетающей ростовую функцию и происхождение семян, закодированное бинарными (блоковыми фиктивными) переменными. При завышенной густоте посадки экотипов лиственницы (8 тыс. шт/га) возраст количественной спелости культур варьируется от 35 до 55 лет, что значительно ниже, чем в естественно формирующихся насаждениях лиственницы сибирской в 80 лет. Даны рекомендации по выявлению наиболее продуктивных и экологически устойчивых экотипов. Ранжирование экотипов по продуктивности характеризуется рядом: Омская область, Тарский р-н; Р. Хакасия, Сонский р-н; Московская обл., Краснопахорский р-н; Московская обл., Бронницкий р-н; Московская обл., Бронницкий р-н (лучш.); Иркутская обл., Братский р-н; Тюменская обл., Ханты-Мансийский р-н; Красноярский край, Ермаковский р-н; Красноярская обл., Ирбейский р-н; Новосибирская обл., Тогучинский р-н; Красноярский край, Енисейский р-н; Р. Бурятия, Кяхтинский р-н; Р. Тыва, Кызылский р-н; Красноярский край, Туруханский р-н. Изменение высоты от толщины деревьев (графиков высот) лиственницы зависит от величины среднего диаметра и средней высоты древостоев и отображается трёхпараметрической полиномологарифмической регрессией. Возрастная динамика роста и продуктивности географических культур лиственницы отображается многомерной асинхронно экотипной моделью, сочетающей ростовую функцию и происхождение семян, закодированное бинарными (блоковыми фиктивными) переменными. Чем раньше наступает возраст кульминации прироста по средней высоте и среднему диаметру экотипа, тем быстрее он снижается с возрастом древостоя.

Лиственница, географические культуры, экотипы, возрастная динамика роста, дендрометрические показатели роста, запас стволовой древесины.

**Введение.** Лиственница сибирская произрастает в пределах лесной зоны, на востоке и северо-востоке Европейской части России, Урала, Западной и Восточной Сибири. На лесосеках и пожарищах она зачастую выступает в качестве лесообразующей породы пионерного типа; предпочитает подзолистые или дерново-подзолистые почвы; холодостойка, светолюбива, требовательна к влажности почвы и воздуха, но избегает избыточного увлажнения [1, 2].

Общеизвестно, что опыты по выращиванию географических культур проводятся в целях изучения способности к акклиматизации и интродукции древесных видов и экотипов, определения их экологической устойчивости в новых климатических и почвенно-гидрологических условиях [3].

Актуальность исследования определена необходимостью улучшения состава лесов Московской области, посадкой высокопродуктивных и экологически устойчивых древесных пород.

Цель исследования заключалась в выявлении закономерностей возрастной динамики роста основных дендрометрических показателей стволов деревьев (средних высот и диаметров), наличного древесного запаса культур лиственницы сибирской и выборе наиболее перспективных экотипов.

Задачами исследования предусмотрено построение регрессионных моделей и выявление многомерных закономерностей возрастной динамики роста и продуктивности географических культур лиственницы в условиях мезофильных (свежих) сложных суборей ( $C_2$ ), ранжирование экотипов по показателям роста и продуктивности древостоев.

**Материал и методы.** Объект исследования представлен чистыми по составу географическими культурами лиственницы сибирской, посаженными в 1954-1955 гг. лесничим П.И. Дементьевым под научным руководством профессора В.П. Тимофеева в 74-м квартале Бронницкого лесничества Виноградовского лесхоза Московской области. Посадка культур была выполнена ранней весной под «Меч Колесова» в 1954 г. после проведения раскорчёвки пней и сплошной подготовки почвы 2-летними сеянцами, выращенными в лесном питомнике Бронницкого лесничества. Размещение растений осуществлено по схеме  $2,5 \times 0,5$  м (густота посадки – 8000 шт/га). Дополнение культур проведено в 1955 г. 3-летними сеянцами [3, 4].

Географические культуры лиственницы сибирской представлены рядом экотипов с указанием номера постоянной пробной площади (ППП) (табл. 1).

Таблица 1

**Значения таксационных показателей экотипов при последнем перечёте в 2013 г.**

| № п/п | Район сбора семян                       | № ППП | Значение таксационного показателя в 2013 г. |          |         |                 |             |                 |
|-------|-----------------------------------------|-------|---------------------------------------------|----------|---------|-----------------|-------------|-----------------|
|       |                                         |       | на постоянной пробной площади               |          |         |                 | на 1 га     |                 |
|       |                                         |       | N,<br>шт/га                                 | D,<br>см | H,<br>м | M,<br>куб. м/га | N,<br>шт/га | M,<br>куб. м/га |
| 1     | Бурятская АССР, Кяхтинский р-н          | 2     | 136                                         | 24,5     | 25,8    | 86,6            | 544         | 346,3           |
| 2     | Омская область, Тарский р-н             | 3     | 300                                         | 22,2     | 27,2    | 163,6           | 1200        | 654,3           |
| 3     | Московская обл., Бронницкий р-н (лучш.) | 7     | 220                                         | 23,8     | 26,5    | 133,8           | 880         | 535,0           |
| 4     | Московская обл., Бронницкий р-н         | 8     | 243                                         | 24,5     | 26,3    | 156,8           | 972         | 627,0           |
| 5     | Тувинский АО, Кызыльский р-н            | 9     | 104                                         | 23,4     | 22,2    | 54,6            | 416         | 218,2           |
| 6     | Иркутская обл., Братский р-н            | 10    | 333                                         | 22,2     | 25,6    | 171,6           | 1332        | 686,3           |
| 7     | Красноярская обл., Енисейский р-н       | 16    | 136                                         | 23,4     | 26,7    | 80,5            | 544         | 322,1           |
| 8     | Тюменская обл., Ханты-Мансийский р-н    | 19    | 172                                         | 26,2     | 28,8    | 134,1           | 688         | 536,5           |
| 9     | Хакаский АО, Сонский р-н                | 20    | 224                                         | 24,2     | 26,7    | 142,2           | 896         | 568,7           |
| 10    | Новосибирская обл., Тогучинский р-н     | 27    | 141                                         | 28,0     | 29,3    | 129,3           | 564         | 517,4           |
| 11    | Красноярская обл., Туруханский р-н      | 30    | 109                                         | 18,8     | 21,9    | 36,7            | 436         | 146,8           |
| 12    | Красноярская обл., Ирбейский р-н        | 33    | 249                                         | 22,2     | 26,7    | 132,7           | 996         | 530,7           |
| 13    | Красноярская обл., Ермаковский р-н      | 34    | 215                                         | 26,2     | 29,2    | 168,8           | 860         | 675,1           |
| 14    | Московская обл., Краснопахорский р-н    | 36    | 201                                         | 25,7     | 28,3    | 153,3           | 804         | 613,4           |

Достоверность определения таксационных показателей древостоев по данным перечётов в 2012-2013 гг. на постоянных пробных площадях оценена по ошибкам репрезентативности статистических показателей изменчивости (коэффициента вариации ( $V$ , %), стандартного отклонения ( $\sigma$ , см) и точности определения среднего диаметра ( $\pm P_D$ , %) каждого экотипа. Средняя высота культур определена по графику высот, построенному по данным 20-30 учётных деревьев, охватывающих весь диапазон толщины деревьев. С использованием значений высоты и толщины деревьев определены объёмы стволов по уравнению регрессии (1), полученному из данных региональных таблиц объёмов [5]. Суммированием объёмов стволов на пробной площади получен запас каждого экотипа.

Для моделирования возрастной динамики роста и продуктивности древостоев применён метод регрессий [6]. Сочетание во множественной регрессии дендрометрических показателей полномологарифмической ростовой функции и бинарных переменных, кодирующих каждый экотип, позволило получить регрессии возрастной динамики роста и продуктивности древостоев от года посадки до 60-летнего возраста.

**Результаты и обсуждение.** Статистический анализ данных сплошного перечёта деревьев, проведённого на постоян-

ных пробных площадях, позволил оценить достоверность статистических показателей по каждому из 14 экотипов. Диапазон средних диаметров ( $D$ ) составил от 18,8 до 28,0 см, ошибок репрезентативности ( $\pm m_D$ ) – от  $\pm 0,41$  до  $\pm 0,69$  см, коэффициента вариации ( $V$ ) – от 29,0 до 36,4%, его ошибки ( $\pm m_V$ ) – от  $\pm 0,40$  до  $\pm 0,76\%$ , стандартного отклонения ( $\sigma$ ) – от 6,0 до 8,8 см, его ошибки ( $\pm m_\sigma$ ) – от  $\pm 0,29$  до  $\pm 0,49$  см, точности определения среднего диаметра ( $\pm P_D$ ) – от  $\pm 1,9$  до  $\pm 3,2\%$ , её ошибки ( $\pm m_{PD}$ ) – от  $\pm 0,07$  до  $\pm 0,18\%$ . Достоверность статистических показателей как отношение значения показателя к его ошибке во всех случаях превышает критическую величину  $t > 3,0$ , что свидетельствует о надёжности данных для построения статистических моделей возрастной динамики роста экотипов.

Наряду с этим был оценён доверительный интервал для генеральной средней (ДИГС) 60-летних культур, характеризующий предельными значениями средней величины на первом и втором пороговом уровнях доверительной вероятности соответственно:  $ДИГС_{0,683} = D \pm 0,40 \div 0,69$  см,  $ДИГС_{0,95} = D \pm 0,80 \div 1,36$  см.

На следующем этапе работ была получена обобщенная статистическая модель изменения высоты деревьев ( $h_i$ , м) от их толщины ( $d_i$ , см) для культурфитоценозов разного среднего диаметра ( $D$ , см) и средней высоты древостоев ( $H$ , м). Модель графиков высот получила следующий вид:

$$h_i = 1,3 + (H - 1,3) \exp(-1,3306 + 0,0842 \ln D + 0,03656 \ln^2 D - 0,0177 \ln^3 D + 0,003571 \ln^4 D - 0,00022 \ln^5 D + 1,33055 \ln^6 D - 0,08423 \ln d_i - 0,03656 \ln^2 d_i + 0,01771 \ln^4 d_i - 0,00357 \ln^5 d_i + 0,00022 \ln^6 d_i) \quad (1)$$

Для определения объёма древесных стволов получена регрессионная модель вида:

$$V_i = \exp(-8,93293 + 1,409992 \ln d_i + 0,065137 \ln^2 d_i + 0,988732 \ln h_i) \quad (2)$$

$$R^2 = 0,999; S_y = \pm 0,011$$

По данным высоты и толщины деревьев на высоте груди по уравнению (2) рассчитаны значения объёмов стволов в коре. Суммированием объёмов стволов на пробной площади получена величина запаса каждого конкретного экотипа.

Несмотря на то, что культуры произрастают в одних и тех же лесорастительных условиях, между экотипами наблюдаются существенные различия в возрастной динамике как средних дендрометрических пока-

зателей ( $D$ , см) и ( $H$ , м), так и запаса древостоев ( $M$ , м<sup>3</sup>/га).

Задачи, связанные с представлением возрастных изменений дендрометрических показателей роста и продуктивности лесных культур, успешно решены методом регрессий на базе полиномологарифмической ростовой функции вида:

$$H, D, M = \exp(a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln^2 A + a_3 \ln^3 A),$$

а также фиктивных блоковых переменных, кодирующих происхождение экотипов лиственницы в соответствии с матрицей бинарных переменных (табл. 2).

В окончательном виде модели возрастной динамики среднего диаметра, средней высоты и запаса представлены уравнениями множественной регрессии (3), (4), (5).

$$D = \exp(-4,37794 + 2,35188X_1 + 1,34418X_2 + 1,32748X_3 - 0,42250X_4 + 2,69487X_5 + 0,32129X_6 - 0,03458X_7 + 0,42545X_8 + 1,07905X_9 - 1,20934X_{10} + 3,04164X_{11} + 1,75692X_{12} + 0,47457X_{13} + 2,59886\ln A - 0,04308\ln^3 A + \ln A(-0,88306X_1 - 0,61376X_2 - 0,57231X_3 - 0,07797X_4 - 1,12922X_5 - 0,19131X_6 - 0,02174X_7 - 0,13189X_8 - 0,50781X_9 + 0,32466X_{10} - 1,31640X_{11} - 0,96212X_{12} - 0,20990X_{13}) + \ln^3 A(0,01520X_1 + 0,01524X_2 + 0,01309X_3 + 0,00806X_4 + 0,02521X_5 + 0,00427X_6 + 0,00106X_7 + 0,00152X_8 + 0,01420X_9 - 0,00483X_{10} + 0,03136X_{11} + 0,03130X_{12} + 0,00451X_{13})) \quad (3)$$

$$R^2 = 0,997; m_R = \pm 0,039; t_{\text{расч}} > t_{05} = 1,98.$$

Таблица 2

## Кодирование экотипов лиственницы сибирской бинарными переменными

| № п/п | Район сбора семян лиственницы сибирской | № ППП | Блочная фиктивная переменная |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          |          |
|-------|-----------------------------------------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
|       |                                         |       | $X_1$                        | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $X_6$ | $X_7$ | $X_8$ | $X_9$ | $X_{10}$ | $X_{11}$ | $X_{12}$ | $X_{13}$ |
| 1     | Бурятская АССР Кяхтинский р-н           | 2     | 0                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 2     | Омская область Тарский р-н              | 3     | 1                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 3     | Московская обл. Бронницкий р-н (Л)      | 7     | 0                            | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 4     | Московская обл. Бронницкий р-н          | 8     | 0                            | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 5     | Тувинский АО Кызыльский р-н             | 9     | 0                            | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 6     | Иркутская обл. Братский р-н             | 10    | 0                            | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 7     | Красноярская обл. Енисейский р-н        | 16    | 0                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 8     | Тюменская обл. Х-Мансийский р-н         | 19    | 0                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 9     | Хакаский АО Сонский р-н                 | 20    | 0                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 10    | Новосибирская обл. Тогучинский р-н      | 27    | 0                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 11    | Красноярская обл. Туруханский р-н       | 30    | 0                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1        | 0        | 0        | 0        |
| 12    | Красноярская обл. Ирбейский р-н         | 33    | 0                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        | 1        | 0        | 0        |
| 13    | Красноярская обл. Ермаковский р-н       | 34    | 0                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        | 0        | 1        | 0        |
| 14    | Московская обл. Краснопахорский р-н     | 36    | 0                            | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        | 0        | 0        | 1        |

Высокое значение коэффициента детерминации ( $R^2 = 0,997$ ) уравнения указывает на адекватное отображение возрастной динамики экотипов по среднему диаметру древостоев. Затабулированные значения среднего диаметра древостоев позволили получить величину среднепериодического текущего прироста с использованием формулы:

$$Z_D = (D_A - D_{A-5})/5.$$

Графическая интерпретация динамических изменений непосредственно среднеквадратического диаметра и производного от него среднепериодического текущего прироста по пятилетиям представлена на рисунке 1. Судя по расхождению линий регрессии экотипов, отнесённых к разным пробным площадям, следует указать на высокую степень изменчивости среднего диаметра и его прироста в конкретном возрасте культур. Для выбора перспективных экотипов было проведено их ранжирование по ве-

личине среднего диаметра в 60-летнем возрасте древостоев с указанием номера постоянной пробной площади: ППП 19 (27,4 см), ППП 34 (27,4 см), ППП 27 (27,1 см), ППП 16 (26,8 см), ППП 36 (25,8 см), ППП 8 (25,7 см), ППП 33 (25,6 см), ППП 7 (25,4 см), ППП 10 (25,1 см), ППП 2 (24,7 см), ППП 3 (24,3 см), ППП 20 (23,7 см), ППП 30 (22,3 см), ППП 9 (20,3 см).

Наряду с этим следует отметить закономерное изменение крутизны кульминарующих кривых динамики текущего прироста. При этом важно указать на тот факт, что чем раньше наступает кульминация прироста, тем быстрее происходит его снижение с возрастом.

Размах варьирования средних диаметров в 60-летнем возрасте экотипов из Туруханского р-на Красноярского края и Тогучинского р-на Новосибирской области составил от 18,8 до 28,0 см при густоте древостоев соответственно 436 и 564 шт/га и запаса 146,8 и 517,4 м<sup>3</sup>/га.



С фитоценотической точки зрения соотношение значений среднего диаметра и густоты древостоев в одинаковых лесорастительных условиях должно быть противоположным. Объяснение причин этого

несоответствия кроется в разной экологической устойчивости и адаптационной способности культурфитоценозов к почвенным и климатическим условиям Московского региона.

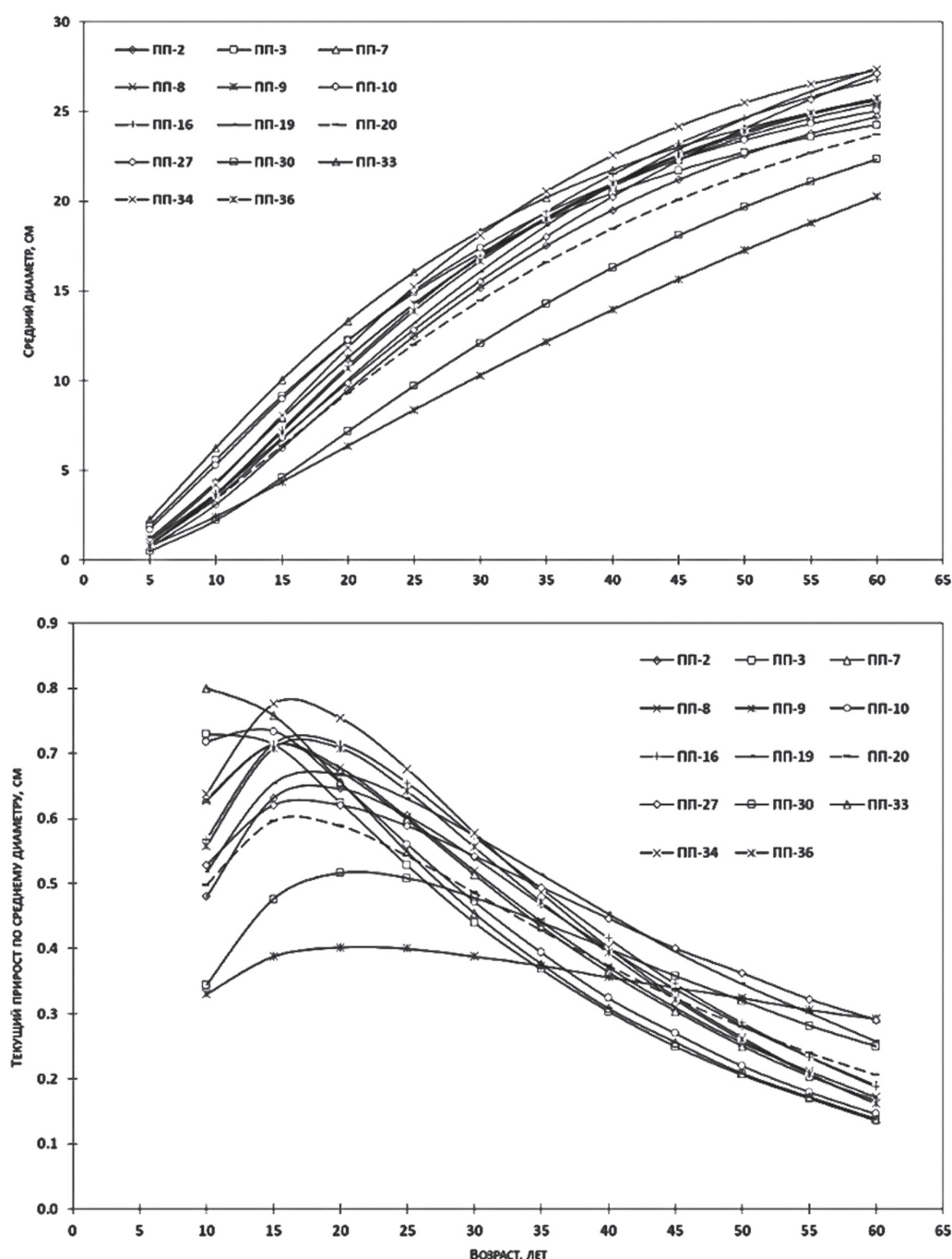


Рис. 1. Возрастная динамика роста и текущего прироста по среднему диаметру экотипов

Аналогичным образом было проведено статистическое моделирование средней высоты древостоев. Возрастная динамика средних высот надёжно описывается уравнением множественной регрессии (4). Очень высокий коэффициент детерминации ( $R^2 = 0,999$ ) указывает на надёжность статистического описания закономерностей

роста экотипов в новых лесорастительных условиях. На рисунке 2 показаны линии регрессии с диапазоном высот в 60-летнем возрасте, охватывающим два класса бонитета  $H_{60} = 20,3$  м (Кызыльский р-н Тувинского АО, ППП № 9)  $H_{60} = 27,4$  м (Ханты-Мансийский р-н Тюменской обл., ППП № 19):

$$H = \exp(-5,51788 + 2,61761X_1 + 1,35185X_2 + 1,34596X_3 + 1,82813X_4 + 2,25956X_5 + 0,43103X_6 + 0,74591X_7 + 1,06260X_8 + 1,59496X_9 - 0,16139X_{10} + 2,91495X_{11} + 0,65304X_{12} + 0,20659X_{13} + 3,84750\ln A - 0,41918\ln^2 A + \ln A(-1,17821X_1 - 0,58186X_2 - 0,58376X_3 - 1,41679X_4 - 0,99444X_5 - 0,13238X_6 - 0,42527X_7 - 0,60531X_8 - 0,92640X_9 - 0,18501X_{10} - 1,28275X_{11} - 0,16383X_{12} + 0,00400X_{13} + \ln^2 A(0,13048X_1 + 0,06314X_2 + 0,06460X_3 + 0,22509X_4 + 0,10888X_5 + 0,01133X_6 + 0,06551X_7 + 0,08194X_8 + 0,13661X_9 + 0,04876X_{10} + 0,14149X_{11} + 0,00706X_{12} - 0,01090X_{13}))$$

$$R^2 = 0,999; m_R = \pm 0,039; t_{\text{расч}} > t_{05} = 1,98.$$

По аналогии с ранжированием среднего диаметра древостоев по средней высоте 60-летних культур проведено их ранжирование по средней высоте, представленное рядом: ППП 19 (27,4 м), ППП 34 (27,4 м), ППП27 (27,1 м), ППП16 (26,8 м), ППП 36 (25,8 м), ППП 8 (25,7 м), ППП 33 (25,6 м), ППП7 (25,4 м), ППП 10 (25,1 м), ППП 2 (24,7 м), ППП3 (24,3 м), ППП 20 (23,7 м), ППП 30 (22,3 м), ППП 9 (20,3 м).

Детальную оценку темпа роста экотипов можно получить, анализируя и сравнивая кривые возрастной динамики среднепе-

риодического текущего прироста по средней высоте древостоев ( $Z_H$ ).

Если судить по кульминирующим линиям регрессии, напрашивается ранее сделанный вывод о том, что чем раньше наступает возраст кульминации прироста по высоте, тем быстрее идёт его снижение с возрастом.

Особый интерес представляют закономерности возрастной динамики запаса ствольной древесины географических культур лиственницы (М, м<sup>3</sup>/га), которые описываются регрессионной моделью вида:

$$M = \exp(-19,18511 + 6,70526X_1 + 5,35252X_2 + 5,77920X_3 - 1,30667X_4 + 13,49678X_5 - 0,31776X_6 + 4,65701X_7 - 2,11505X_8 + 5,59218X_9 - 5,10284X_{10} + 14,06806X_{11} + 11,86946X_{12} + 2,73315X_{13} + 13,24175\ln A - 1,74566\ln^2 A + \ln A(-3,67857X_1 - 3,04051X_2 - 3,40278X_3 - 0,45766X_4 - 7,88545X_5 + 0,17720X_6 - 2,95391X_7 + 1,24959X_8 - 3,53139X_9 + 2,36384X_{10} - 7,89400X_{11} - 7,29288X_{12} - 1,60671X_{13}) + \ln^2 A(0,53895X_1 + 0,44979X_2 + 0,52204X_3 + 0,16900X_4 + 1,16343X_5 - 0,02155X_6 + 0,47110X_7 - 0,15383X_8 + 0,55497X_9 - 0,31050X_{10} + 1,11675X_{11} + 1,11621X_{12} + 0,26160X_{13}))$$

$$R^2 = 0,999; m_R = \pm 0,003; t_{\text{расч}} > t_{05} = 1,98.$$

Линии регрессии, полученные по уравнению (5), приведены в верхней части рисунка 3 и представлены в основном кульминирующими кривыми с минимальным запасом древостоя в 60 лет 170 куб. м/га (Туруханский р-н Красноярского края, ППП 30) и с максимальным – 642 куб. м/га (Тарский р-н Омской обл., ППП 3). Кульминация запаса до 70 лет проявляется у 12 экотипов лиственницы. Исключение представляют два экотипа культур, выращенных из семян, собранных в Братском районе Иркутской области (ППП-10) и Ермаковском районе Красноярского края (ППП № 34). Кульминация запаса у этих экотипов прогнозируется в возрасте 100 лет при запасае 800 куб. м/га. В 60-летнем возрасте этих культур (перечёт 2013 г.) густота древостоев составила соответственно 1332 и 860 шт/га при запасае 686 и 675 куб. м /га (табл. 1).

Для общей оценки возрастной динамики продуктивности экотипов пока-

зано ранжирование культур по максимальной величине запаса в соответствующем возрасте: ППП 34 (658 куб. м /га, А = 60 лет); ППП 10 (653, А = 60 лет); ППП 3 (642, А = 55 лет); ППП 8 (585, А = 55 лет); ППП 36 (574, А = 50 лет); ППП 20 (566, А = 45 лет); ППП 7 (514, А = 50 лет); ППП 33 (511, А = 60 лет); ППП 19 (508, А = 55 лет); ППП 27 (495, А = 60 лет); ППП 16 (392, А = 45 лет); ППП 2 (375, А = 45 лет); ППП 9 (226, А = 60 лет); ППП 30 (205, А = 45 лет), а также ранжирование экотипов к конечному возрасту древостоев в 60 лет (год перечёта – 2013), представленное рядом: ППП 34 (658 куб. м/га); ППП 10 (653 куб. м/га); ППП3 (630 куб. м/га); ППП 8 (582 куб. м/га); ППП 36 (549 куб. м/га); ППП33(511куб.м/га);ППП19(507куб.м/га);ППП7 (498куб.м/га);ППП27(495куб.м/га);ППП20 (488куб.м/га);ППП16(335куб.м/га);ППП 2 (320 куб. м/га); ППП 9 (226 куб. м/га); ППП 30 (170 куб. м/га).

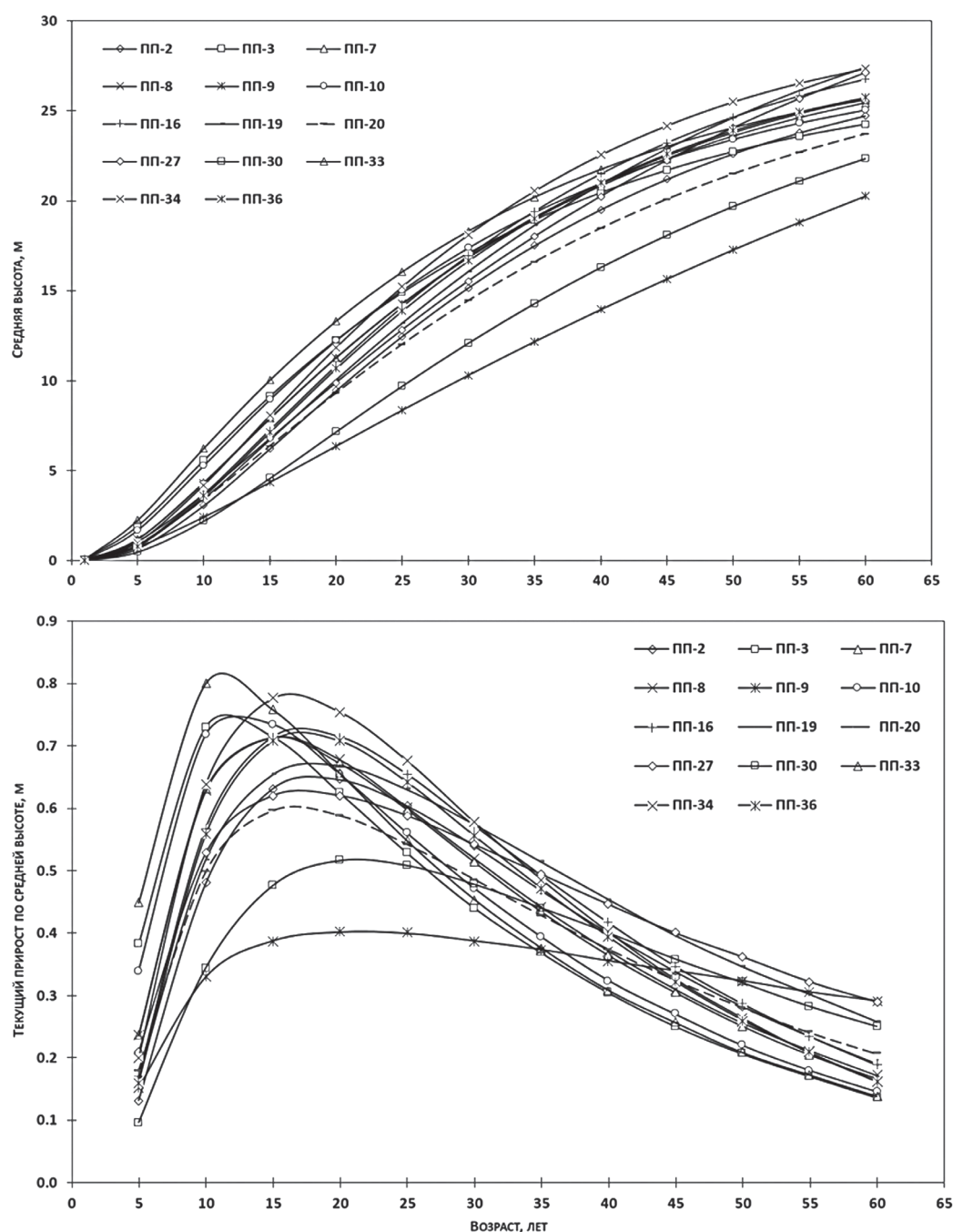


Рис. 2. Возрастная динамика роста и текущего прироста по средней высоте экотипов

По регрессиям возрастной динамики запаса были рассчитаны значения средне-периодического текущего изменения запаса по формуле:

$$Z_M = (M_A - M_{A-5})/5.$$

Динамика текущего изменения запаса – прироста растущей части древостоев – представлена кульминирующими кривыми в нижней части рисунка 3. Оценивая этот таксационный показатель как «урожайность» древесины в единицу времени, следует обратить внимание на её максималь-

ное значение в возрасте кульминации. Она варьируется от 8 до 26 куб. м/га в возрасте от 25 до 35 лет. Линии регрессии возрастной динамики среднего изменения запаса, рассчитанного по формуле  $\Delta_M = M_A/A$ , позволили определить максимальные значения и возраст достижения кульминации по каждому экотипу лиственницы сибирской.

Максимальные значения среднего изменения запаса были положены в основу ранжирования культур по продуктивности, характеризующихся рядом: Омская область, Тарский р-н (ППП 3); Хакасский АО, Сонский р-н (ППП 20); Московская обл., Крас-

нопахорский р-н (ППП 36); Московская обл., Бронницкий р-н (ППП 8); Московская обл., Бронницкий р-н (лучш.) (ППП 7); Иркутская обл., Братский р-н (ППП 10); Тюменская обл., Ханты-Мансийский р-н (ППП 9); Красноярская обл., Ермаковский р-н (ППП 4);

Красноярская обл., Ирбейский р-н (ППП 33); Новосибирская обл., Тогулчинский р-н (ППП 7); Красноярская обл., Енисейский р-н (ППП 6); Бурятская АССР, Кяхтинский р-н (ППП 2); Тувинский АО, Кызыльский р-н (ППП 9); Красноярская обл., Туруханский р-н (ППП 30).

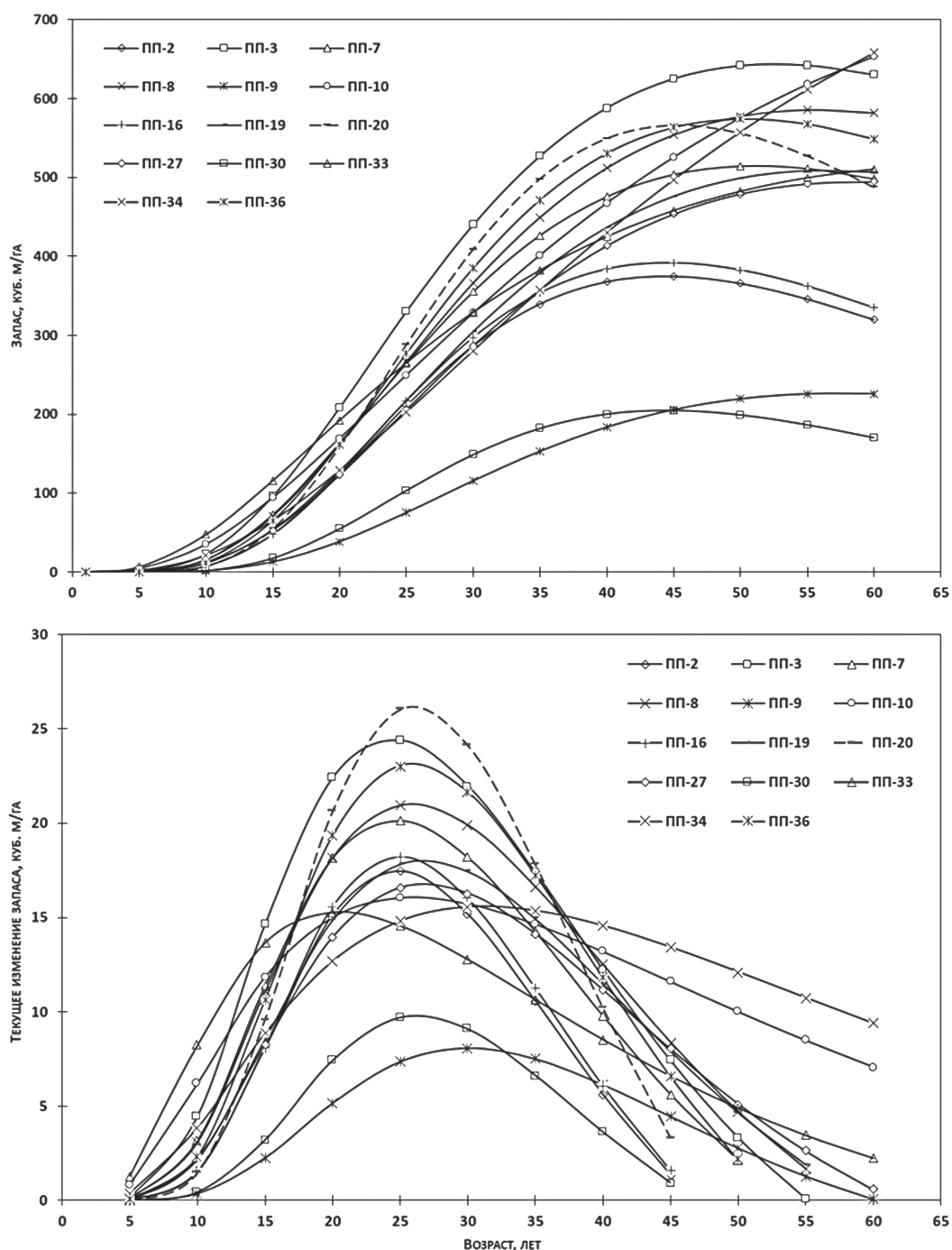


Рис. 3. Возрастная динамика наличного запаса (сверху) и текущего изменения запаса (снизу) экотипов

Размах варьирования среднегодовой продуктивности древостоев в кульминационном возрасте культур находится в диапазоне от 5 до 15 куб. м/га. При этом возраст кульминации среднегодовой продуктивности экотипов находится в диапазоне

от 30 лет до 55 лет, а возраст количественной спелости – от 35 до 55 лет.

Более ранний возраст кульминации текущего и среднего прироста экотипов культур (без учета отпада), выращенных в Бронницком лесничестве в почвенно-типологиче-



ских условиях мезофильных (свежих) сложных суборей ( $C_2$ ), по сравнению с естественно формирующимися древостоями, по данным таблиц хода роста ( $A = 80$  лет), объясняется,

прежде всего, завышенной густотой посадки культур ( $8,0$  тыс. шт/га), которая в два раза превышает нормативные требования при создании культур хвойных пород.

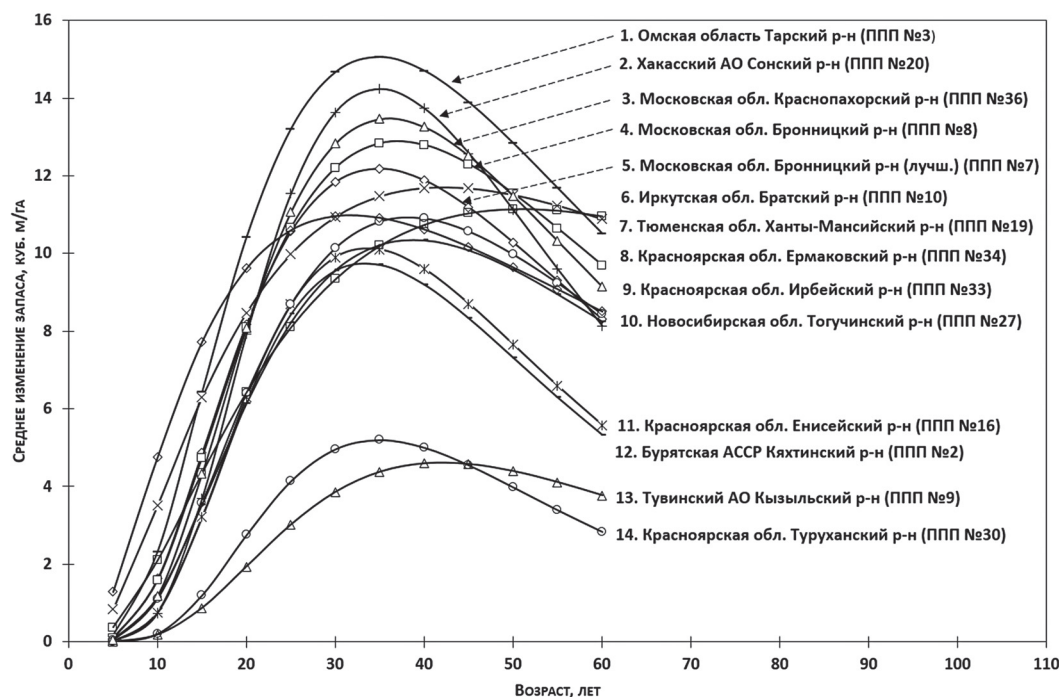


Рис. 4. Возрастная динамика среднего изменения запаса (среднего прироста) экотипов

Другим аргументом против выращивания лесных культур с завышенной, а не оптимальной густотой посадки является более ранний возраст количественной спелости — от 35 до 55 лет. В этом возрасте ещё не исчерпаны все потенциальные возможности лиственницы для использования в полной мере плодородия и увлажнения почв в условиях мезофильных сложных суборей ( $C_2$ ).

Таким образом, выявленные закономерности возрастной динамики роста, продуктивности, текущего и среднего прироста географических культур лиственницы сибирской позволили продемонстрировать научно-методические решения по систематизации экотипов с позиций их продуктивности и экологической устойчивости для внедрения в лесокультурное производство.

#### Библиографический список

1. Тимофеев В.П. Лиственница в культуре. Л.: Гослестехиздат, 1947. 297 с.
2. Тимофеев В.П. Роль лиственницы в поднятии продуктивности лесов. М.: Лесная промышленность, 1961. 160 с.
3. Карасев Н.Н. Повышение продуктивности лесов Подмосковья путём интродук-

ции лиственницы: Дисс. на соискание учёной степени канд. с.-х. наук. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. 154 с.

4. Дементьев П.И. Записки лесничего. М.: Лесная промышленность, 1969. 102 с.

5. Загребев В.В., Баранов А.Ф. Сортиментные и товарные таблицы для лесов центральных и южных районов Европейской части РСФСР. М.: ВНИИЛМ, 1987. 128 с.

6. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.

Материал поступил в редакцию 08.03.2017 г.

#### Сведения об авторах

**Хлюстов Виталий Константинович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и мелиорации ландшафтов, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Тимирязевская ул., д. 49; тел.: +7 (903) 526-90-73; e-mail: vitakhlustov@mail.ru

**Корешков Николай Владимирович**, ассистент кафедры лесоводства и мелиорации ландшафтов, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Тимирязевская ул., д. 49; тел.: +7 (977) 968-36-33. e-mail: koreshkov21@mail.ru

V.K. KHLIUSTOV, N.V. KORESHKOV

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

## SYSTEMATIZATION OF GROWTH AND PRODUCTIVITY OF GEOGRAPHICAL CROPS OF SIBERIAN LARCH (*LARIX SIBIRICA*)

*The purpose of the work is identification of regularities of the age dynamics of estimated indicators of growth and productivity of geographical crops of Siberian larch reaching 60-years under the conditions of mesophilic (fresh) complex subors (C<sub>2</sub>) in the Moscow region. The objects make up 14 larch ecotypes with the initial planting rate of 2-year seedlings in the quantity of 8 thousand pieces per hectare. The age dynamics of growth and productivity of larch ecotypes is described by the multi-dimensional asynchronous dynamic model combining a growth function and origin of seeds coded by binary (block dummy) variables. At a higher planting rate of larch ecotypes (8 thousand pieces per hectare) the age of the quantitative ripeness of crops varies from 35 to 55 years which is much lower than in the naturally formed plantations of the Siberian larch aged 80 years. There are given recommendations on identification of the most productive and ecologically steady ecotypes. Ecotypes productivity ranging is characterized in the following order: Omsk region, Tarsky district; R. Hakassiya, Sonsky district; Moscow Region, Krasnopakhorsky district; Moscow Region, Bronnitsy district; Moscow Region, Bronnitsy district (best); Irkutsk Region, Brotherly district; Tyumen Region, Khanty-Mansi district; Krasnoyarsk Krai, Ermakovsky district; Krasnoyarsk Region, Irbeysky district; Novosibirsk Region, Toguchinsky district; Krasnoyarsk Krai, Yenisei district; R. Buryatiya, Kyakhta district; R. Tyva, Kyzyl district; Krasnoyarsk Krai, Turukhansky district. The height change from trees thickness (heights scheme) of larch depends on the value of average diameter and average height of forest stands and is displayed by a three-parametrical polynomologarithmic regression. The age dynamics of growth and productivity of larch geographical crops is displayed by the multi-dimensional asynchronous ecotype model combining a growth function and origin of seeds coded by binary (block fictitious) variables. The earlier there comes the age culmination increase of the average height and diameter of the ecotype, the quicker it decreases with the forest stand age.*

*Larch, geographical crops, ecotypes, age dynamics of growth, dendrometric indicators of growth, stem wood stand.*

### References

1. Timofeev V.P. Listvennitsa v culpture. L.: Goslestehizdat, 1947. 297 s.
2. Timofeev V.P. Rolj listvennitsy v podnyatii produktivnosti lesov. M.: Lesnaya promyshlennostj, 1961. 160 s.
3. Karasev N.N. Povyshenie produktivnosti lesov Podmoskovjya putem introductsii listvennitsy: Diss. Na soiskanie uchenoj stepeni cand s.-h. nauk. M.: GOU VPO MGUL, 2009. 154 s.
4. Dementjev P.I. Zapiski lesnichego. M.: Lesnaya promyshlennostj, 1969. 102 cs
5. Zagreev V.V., Baranov A.F. Sortimentnye i tovarnye tablitsy dlya lesov tsentraljnyh i yuzhnyh rajonov Evropejskoj chaste RSFSR. M.: VNIILM, 1987. 128 s.
6. Drejper N., Smit G. Prikladnoj regresionny analiz. M.: Statistika, 1973. 392 s.

The material was received at the editorial office  
08.03.2017.

### Information about the authors

**Khlyustov Vitalij Konstantinovich**, doctor of agricultural sciences, professor of the chair of forestry and reclamation of landscapes, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, Timiryazevskaya ul., d. 49; tel.: +7 (903) 526-90-73; e-mail: vitakhlustov@mail.ru

**Koreshkov Nikolaj Vladimirovich**, assistant of the chair of forestry and reclamation of landscapes, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, Timiryazevskaya ul., d. 49; tel.: +7 (903) 526-90-73; e-mail: +7 (977) 968-36-33. e-mail: koreshkov21@mail.ru

УДК 502504:639.517

**А.В. ЖИГИН, В.А. АРЫСТАНГАЛИЕВА**

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

**Д.В. ТЫРИН, Н.П. КОВАЧЕВА**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО), г. Москва, Российская Федерация

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА ПРИ ПОДРАЩИВАНИИ МОЛОДИ АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА**

Австралийский красноклешневый рак (*Cherax quadricarinatus*) обладает ценными потребительскими, хозяйственными качествами и является перспективным объектом выращивания. Цель исследований — определение оптимальной температуры воды, при которой наилучшим образом сочетаются скорость роста, выживаемость и другие показатели выращивания красноклешневых раков в условиях циркуляционной установки и последующее изучение кислородных потребностей подращиваемой молоди в данном оптимальном диапазоне температуры воды. Молодь в возрасте 60 сут. после вылупления подращивали в четырёх одинаковых аквариумах с циркуляцией и очисткой воды объёмом по 180 л в течение 70 сут. при плотности посадки 44,4 шт./м<sup>2</sup>. При определении кислородных потребностей использовали стеклянный аквариум общим объёмом 49 л, применяли метод замкнутого сосуда и балансовые расчёты. Для подращивания молоди в качестве оптимального рекомендован диапазон температур 27,1...29,0°C, температуру воды 25,1...27,0°C можно считать допустимой для эффективного выращивания. В диапазоне температур 27...29°C удельное потребление кислорода молодью при средней массе особи  $7,23 \pm 1,62$  г составило  $871,1 \pm 273,8$  мг на 1 кг живой массы в 1 ч и снижалось до  $427,7 \pm 107,2$  мг/кг в 1 ч по мере роста массы особи до  $14,81 \pm 3,07$  г.

*Австралийский красноклешневый рак, Cherax quadricarinatus, подращивание молоди, температура воды, потребление кислорода, циркуляционная установка.*

**Введение.** Австралийский красноклешневый рак (*Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) относится к тепловодным гидробионтам и является перспективным объектом выращивания (рис. 1), так как обладает ценными потребительскими и хозяйственными качествами. Рак характеризуется высокой скоростью роста, неприхотливостью к условиям содержания, отсутствием стадий пелагических личинок, а самое главное — относительно низкими показателями агрессивности и проявления каннибализма. В природе вид распространён в пресных водоемах на севере Австралийского континента. Кроме того, этот рак акклиматизирован во многих тропических странах. Длина тела раков может достигать 20...25 см. Живая масса (ЖМ) самцов — до 500 г, самок — до 400 г. Половой

зрелости эти раки достигают в возрасте 7...12 мес. при размере тела около 6...10 см. Средняя продолжительность жизни составляет около 5 лет. В природе основой питания раков является разнообразная пища животного и растительного происхождения [1].

Технология индустриального выращивания австралийских раков ещё недостаточно отработана. Важнейшим элементом такой технологии является отработка подращивания молоди с подбором оптимальной температуры воды и изучение кислородных потребностей вида. Известно, что раки, как и подавляющее большинство других гидробионтов, относятся к пойкилотермным (холоднокровным) — животным с непостоянной температурой тела, меняющейся в зависимости от температуры внешней среды.

Поэтому влияние температурного фактора при выращивании гидробионтов имеет первостепенное значение. При этом с возрастом температурный оптимум становится шире, поэтому влияние данного показателя на рост наиболее сильно проявляется на ранних стадиях развития.

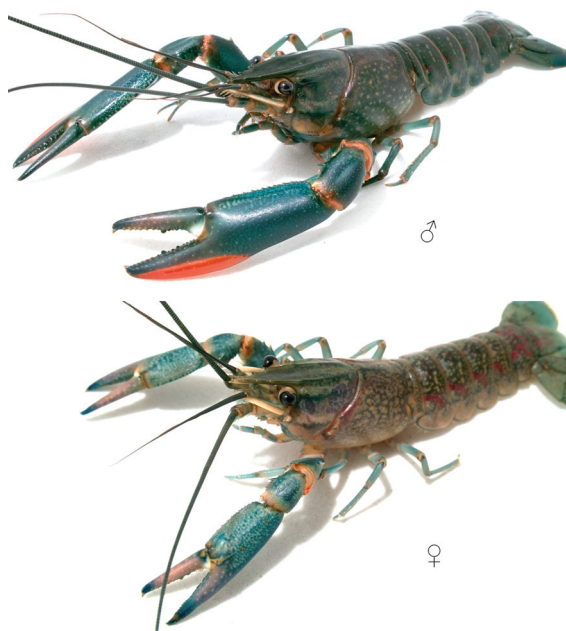


Рис. 1. Австралийский красноклешневый рак (*Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868))

Повышение или понижение температуры в допустимых пределах вызывают соответствующие сдвиги в жизнедеятельности гидробионтов. В частности, повышение температуры увеличивает потребление кислорода, экскрецию аммонийного азота, активизирует другие процессы метаболизма, усиливает поиск, потребление, переваривание пищи, ускоряет всасывание растворённых веществ из окружающей среды, повышает чувствительность к токсикантам, ускоряет развитие и половое созревание. Известно, что летальной для австралийского красноклешневого рака является температура ниже 10°C и выше 36°C [2]. При этом некоторые авторы указывают температуру эффективного интенсивного выращивания раков в диапазоне 25...30°C [3, 4].

В связи с приведёнными температурными ограничениями, с точки зрения круглогодичного производства товарной продукции, независимо от климатической зоны рыбоводства, наиболее интересен вариант культивирования этих раков в установках с замкнутым водоиспользованием. Выращивание гидробионтов в таких установках

придаёт температурному фактору особое значение, так как он является полностью управляемым параметром создаваемой искусственной экосистемы. Это в свою очередь позволяет воздействовать на жизненные функции содержащихся гидробионтов и обменные процессы их организма, отражением интенсивности которых является величина потребления кислорода.

Гидробионты (в том числе раки) дышат растворённым в воде кислородом, главным образом – через жабры, поэтому содержание его в воде имеет для них первостепенное значение. Кислородные потребности ракообразных подробно рассмотрены в классической работе Л.М. Суцени [5] и изучались нами ранее [6, 7, 8], однако эти исследования не затрагивали красноклешневого рака.

Кислородные потребности могут быть выражены в виде удельного потребления кислорода (количество кислорода, потребляемое 1 кг гидробионтов при определённой температуре выращивания в единицу времени – например, мг/кг в час). Этот показатель определяется интенсивностью обменных процессов в организме ракообразных в зависимости от воздействия факторов окружающей среды, и в первую очередь – температуры. Кислород хуже растворяется в тёплой воде, поэтому при содержании такого ценного теплолюбивого объекта аквакультуры, как австралийский красноклешневый рак, в искусственных условиях фактор достаточного наличия кислорода в воде является одним из определяющих технологических показателей эксплуатации УЗВ.

Тесная взаимосвязь температурного фактора и потребления кислорода привела нас к необходимости комплексного изучения этих факторов в процессе отработки биотехники подращивания молоди в условиях циркуляционных установок.

Целью исследований являлось определение оптимальной температуры воды, при которой наилучшим образом сочетаются скорость роста, выживаемость и другие показатели выращивания австралийских красноклешневых раков и последующее изучение кислородных потребностей подращиваемой молоди в данном оптимальном диапазоне температуры воды.

При этом определяли количество потребляемого кислорода и изучали динамику дыхательного процесса у молодых особей австралийского красноклешневого рака двух групп в зависимости от ЖМ.



**Материалы и методы исследования.** Работа проводилась в условиях аквариальной лаборатории марикультуры ФГБНУ «ВНИРО». Объектом исследования являлась молодь одной генерации, полученная от одной пары производителей, завезённых из Астраханской области. Период развития икры под абдоменом самки при средней температуре воды 24°C составлял 40...45 сут. Вылупившиеся личинки продолжали находиться на абдомене самки ещё около 28...30 сут. За это время они пережили три линочные стадии и приобрели все черты строения взрослой особи. После этого молодь покинула самку, приобретая способность самостоятельно перемещаться и питаться.

На первом этапе для определения оптимального диапазона температуры полученная молодь в возрасте 60 сут. после вылупления была высажена в четыре одинаковых аквариума с циркуляцией и очисткой воды рабочим объёмом по 180 л и выращивалась в течение 70 сут. Исходная плотность посадки составила 44,4 шт/м<sup>2</sup>. Температура воды поддерживалась в четырёх разных ди-

апазонах: 23,0...25,0; 25,1...27,0; 27,1...29,0 и 29,1...31,0. Основные гидрохимические показатели соответствовали требованиям нормативов для УЗВ [9]. Кормление осуществляли аквариумным кормом для декоративных рыб и ракообразных фирмы «Tetra» (Германия) – «TetraWaferMix» – из расчёта 1,6% в сутки от ЖМ раков.

После определения оптимальной температуры воды (27...29°C) для подращивания молоди применяли отработанную нами ранее методику эксперимента с другими представителями отряда Decapoda [7, 8]. В качестве экспериментальной системы использовали стеклянный аквариум размерами 50 × 30 × 35 см и общим объёмом 49 л с затемнёнными во избежание дополнительного стресса у рака чёрной полиэтиленовой плёнкой стенками и дном (рисунок 2 – без плёнки). Объём воды в аквариуме составлял 20 л, глубина – 15 см. Аквариум был оборудован циркуляционным насосом «Tunze 110.04», подававшим воду через шланг на электрод мультипараметрового зонда «YSI-550A».



Рис. 2. Экспериментальная система

Молодь была разделена в зависимости от ЖМ на 2 группы по 15 экземпляров. В группу 1 были отобраны особи с ЖМ до 10 г (диапазон – 3,53...9,15 г, средняя – 7,23 ± 1,62 г), во вторую – с ЖМ более 10 г (диапазон – 10,63...21,28 г, средняя – 14,81 ± 3,07 г). Таким образом, получилась двукратная разница по средней ЖМ между группами. Во время эксперимента средняя температура воды находилась в диапазоне 27...29°C.

До эксперимента особи содержались в аквариумах, в которых поддерживалась аналогичная средняя температура воды. Каждого рака взвешивали и поочерёдно помещали индивидуально в эксперимен-

тальную систему, предварительно измерив начальную концентрацию кислорода (7,5...9,2 мг/л) и температуру воды. После этого поверхность воды закрывали полиэтиленовой плёнкой во избежание диффузионных потерь кислорода и минимизации стресса у рака. В ходе эксперимента измеряли промежуточные концентрации кислорода в воде и её температуру каждые 15 мин в течение трёх часов. Потребление кислорода вычисляли балансовым методом. Количественные показатели результатов исследований подвергали вариационно-статистическому анализу с использованием программного обеспечения PC Microsoft Ex-

cel-2007. Достоверность различий оценивали на основании критерия Стьюдента.

**Результаты исследований.** Наибольшие удельная скорость роста молоди, абсолютный прирост биомассы, среднесуточный прирост и биопродуктивность отмечены в третьем варианте опыта, где диапазон температуры воды составлял 27,1...29,0°C (табл.). При этом достоверные различия по конечной средней массе особей отмечены только между третьим и четвертым вариантами опыта. Очевидно, что

температура выше 29°C угнетала жизнедеятельность молоди раков, что отразилось на минимальном приросте индивидуальной массы особей. Вместе с тем в данном случае обращает на себя внимание бóльшая выживаемость особей. Это можно объяснить меньшей скоростью роста раков, поскольку в этом случае ниже и частота линек особей, а значит, ниже уровень проявления каннибализма – главной причины снижения выживаемости ракообразных в данных условиях.

Таблица

## Влияние температуры воды на рост раков

| Показатели                                                | Температура воды, °С |             |             |             |
|-----------------------------------------------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                           | 23,0...25,0          | 25,1...27,0 | 27,1...29,0 | 29,1...31,0 |
| Исходная плотность посадки, шт./м <sup>2</sup>            | 44,4                 | 44,4        | 44,4        | 44,4        |
| Общее кол-во, шт.                                         | 20                   | 20          | 20          | 20          |
| Выживаемость, шт.<br>%                                    | 11                   | 14          | 13          | 17          |
|                                                           | 55                   | 70          | 65          | 85          |
| Средний вес, г: исходный<br>конечный                      | 0,57±0,06            | 0,46±0,05   | 0,44±0,04   | 0,47±0,04   |
|                                                           | 5,87±0,80            | 6,23±0,72   | 8,47±1,20*  | 5,42±0,65*  |
| Абсолютный прирост массы, г                               | 5,30                 | 5,77        | 8,03        | 4,94        |
| Общая биомасса, г: исходная<br>конечная                   | 11,4                 | 9,2         | 8,8         | 9,4         |
|                                                           | 64,57                | 87,22       | 110,11      | 92,14       |
| Абсолютный прирост биомассы, г                            | 53,17                | 78,02       | 101,31      | 82,74       |
| Удельная скорость роста                                   | 0,034                | 0,037       | 0,042       | 0,035       |
| Среднесуточный прирост, г                                 | 0,088                | 0,096       | 0,134       | 0,082       |
| Коэффициент вариации по массе, %:<br>исходный<br>конечный | 10,53                | 10,87       | 9,09        | 8,51        |
|                                                           | 13,63                | 11,56       | 14,17       | 11,99       |
| Расход корма, г                                           | 90,3                 | 85,92       | 96,9        | 96,87       |
| Затраты корма, г/г прироста биомассы                      | 1,7                  | 1,1         | 0,9         | 1,2         |
| Биопродуктивность, г/м <sup>2</sup>                       | 143,49               | 193,82      | 244,69      | 204,76      |

\*Разность достоверна при 95%-ном доверительном интервале.

Сравнительно низкие результаты выращивания отмечены и в первом варианте опыта при температуре воды 23,0...25,0°C и это несмотря на то, что исходная средняя масса особей в данной емкости была наибольшей. Раки росли заметно медленнее, чем в других вариантах опыта, недостаточно эффективно использовали на рост потребляемые корма (затраты корма на 1 г прироста биомассы составили 1,7 г). Необходимо отметить сравнительно высокую смертность особей, что было связано не с каннибализмом, а, видимо, с относительно неблагоприятным температурным фактором. Всё это в конечном итоге выразилось в минимальной биопродуктивности.

Выращивание раков в диапазоне температур 25,1...27,0°C показало хорошие удельную скорость роста молоди, абсолютный прирост средней массы, среднесуточ-

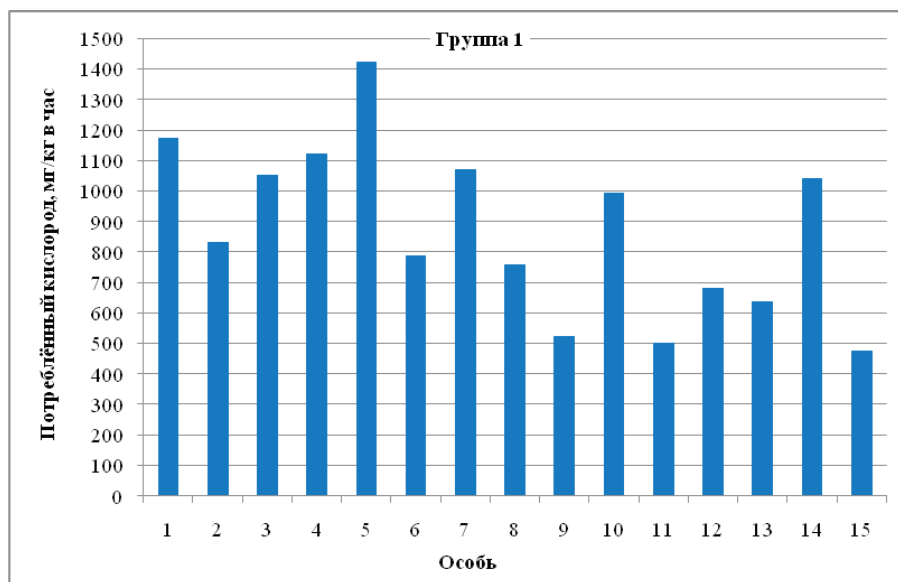
ный прирост, затраты корма и выживаемость, сопоставимые с таковыми при температуре воды 27,1...29,0°C. При этом можно отметить, что несколько меньшими были энергозатраты.

Таким образом, для подращивания молоди австралийского красноклещевого рака в качестве оптимального можно рекомендовать диапазон температур 27,1...29,0°C. Температуру воды 25,1...27,0°C можно считать допустимой для эффективного выращивания. Видимо, можно говорить о возможности объединения этих температурных диапазонов в один благоприятный для выращивания диапазон температуры воды от 25 до 29°C, что действительно практически соответствует диапазону, указанному ранее в обзоре литературы [3, 4]. Снижение или повышение температуры воды относительно указанных

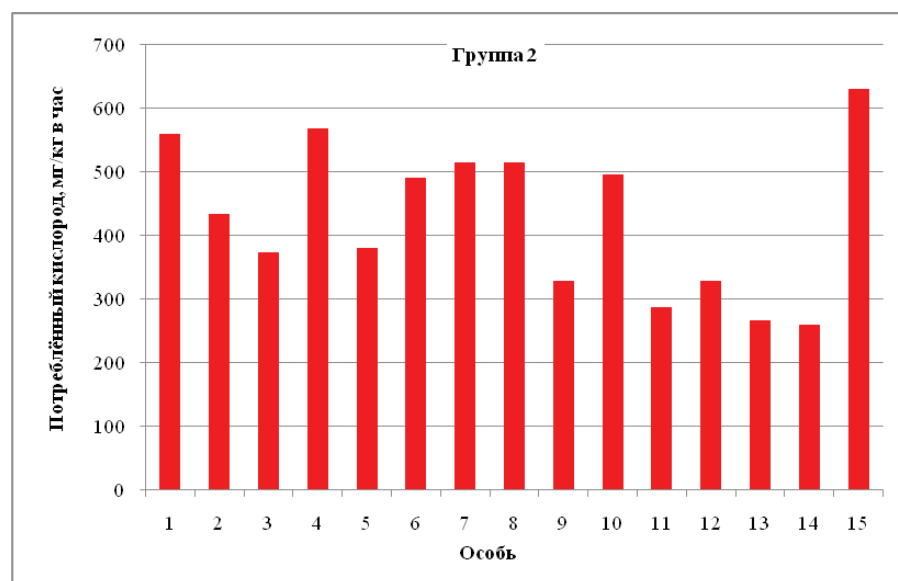
пределов приводит к неудовлетворительным результатам культивирования.

В результате дальнейших исследований, проведённых в оптимальном диапазоне температуры воды, установлено, что удельное потребление кислорода австралийским

красноклешневым раком составляет в среднем  $871,1 \pm 273,8$  мг кислорода на 1 кг ЖМ в 1 ч для первой группы и  $427,7 \pm 107,2$  мг/кг в 1 ч – для второй, т.е. разница между группами получилась двукратной. Данные по отдельным особям представлены на рисунке 3.



а)



б)

Рис. 3. Потребление кислорода австралийскими красноклешневыми раками: а – группа 1; б – группа 2

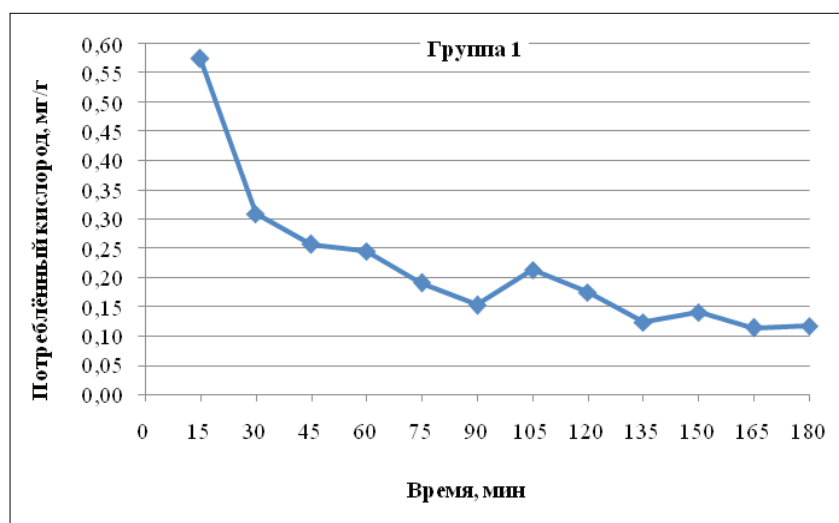
Обработка результатов эксперимента методом расчёта коэффициента Стьюдента показала, что разница между группами статистически достоверна при  $p < 0,05$ . Наибольшее потребление кислорода наблюдалось в первые 45 мин после посадки, а дальше потребление кислорода держалось примерно на одном уровне с тенденцией снижения (рис. 4). Это можно объяснить относительно спокойным состоянием особей

после первоначального стресса (они укрывались в углах аквариума, рядом с циркуляционным насосом, его шлангом или зондом оксиметра). У особей из группы 2 кривая интенсивности потребления кислорода является более пологой, что, возможно, связано с меньшей восприимчивостью к стрессу у более крупных раков.

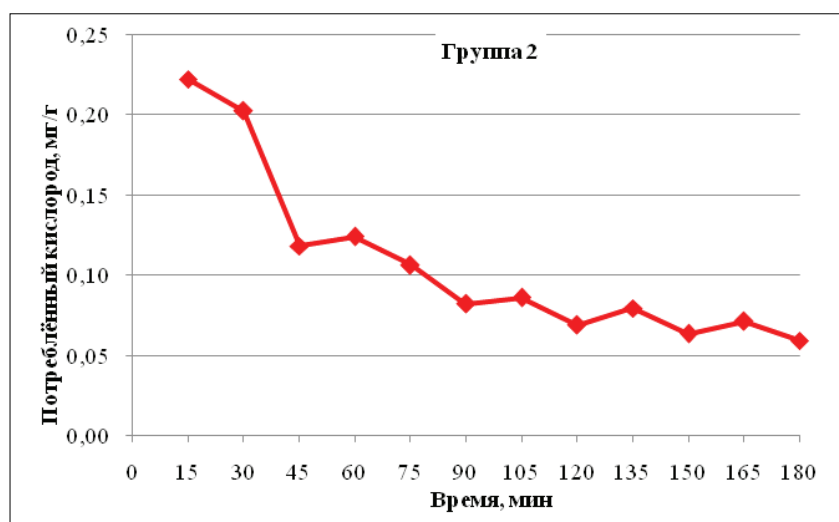
Проведённые нами исследования позволили уточнить диапазон оптимальной

температуры воды для наиболее эффективного подращивания молоди австралийского красноклещевого рака и определить среднюю удельную величину потребления кислорода в данном диапазоне. Полученные

данные необходимы для разработки биотехнических нормативов подращивания молоди раков в искусственных условиях и расчёта технических параметров циркуляционной установки для его осуществления.



а)



б)

Рис. 4. Интенсивность дыхания у австралийских красноклещевых раков:  
а – группа 1; б – группа 2

### Выводы

1. Для подращивания молоди австралийского красноклещевого рака в качестве оптимального можно рекомендовать диапазон температур 27,1...29,0°C. Температуру воды 25,1...27,0°C можно считать допустимой для эффективного выращивания.

2. В диапазоне температур 27...29°C удельное потребление кислорода австралийским красноклещевым раком при средней массе особи  $7,23 \pm 1,62$  г составило  $871,1 \pm 273,8$  мг кислорода на 1 кг живой массы в 1 ч и снижалось до  $427,7 \pm 107,2$  мг/кг в 1 ч по мере роста массы особи до  $14,81 \pm 3,07$  г.

### Библиографический список

1. Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Акимов М.Ю., Паршин-Чудин А.В. Биология и культивирование австралийского красноклещевого рака *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868). М.: Изд-во ВНИРО, 2013. 48 с.
2. Lawrence C., Jones C. Chapter 17. Cherax. In: Biology of Freshwater Crayfish. Holdich D.M. (Ed.) // UK, Oxford: Blackwell Science. 2002. P. 635-670.
3. Xiaoxuan C., Zhixin W., Licai H. Effects of Water Temperature on Ingestion and Growth of *Cherax quadricarinatus* // Journal



of Huazhong Agricultural. 1995 (In Chinese with English Abstract).

4. Meade M.E., Doeller J.E., Kraus D.W., Watts S.A. Effect of temperature and solinity on weight gain, oxygen consumption rate, and growth efficiency in juvenile red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* // Journal of the World Aquaculture Society. 2002. V. 33. № 2. P. 188-198.

5. Суцения Л.М. Интенсивность дыхания ракообразных. Киев: «Наукова думка», 1972. 195 с.

6. Жигин А.В. Потребление кислорода гигантскими пресноводными креветками при содержании в искусственных условиях // Материалы и доклады Междунар. науч. – практ. конф. «Рациональное использование пресноводных экосистем – перспективное направление реализации национального проекта "Развитие АПК"», 17-19 декабря 2007 г. / ГНУ ВНИИР. М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2007. С. 161-163.

7. Тырин Д.В. Биотехнические основы содержания камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* и американского омара *Homarus americanus* в установках с замкнутым водоиспользованием: Диссертация на соискание учёной степени канд. с.-х. наук. М.: РГАУ-МСХА, 2011. 141 с.

8. Тырин Д.В., Арыстангалиева В.А. Потребление кислорода и интенсивность дыхания гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* в искусствен-

ных условиях // Аграрная наука. 2013. № 2. С. 25-27.

9. Жигин А.В. Замкнутые системы в аквакультуре: Монография. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2011. 664 с.

Материал поступил в редакцию 28.02.2017 г.

### Сведения об авторах

**Жигин Алексей Васильевич**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры аквакультуры и пчеловодства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: 8-905-773-83-68; azhigin@gmail.com.

**Арыстангалиева Венера Адидовна**, аспирант кафедры аквакультуры и пчеловодства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: 8-926-859-06-33; bakyt\_kusy\_kz@mail.ru.

**Тырин Дмитрий Владимирович**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории марикультуры беспозвоночных ФГБНУ ВНИРО 107140, г. Москва, улица Красносельская Верхн., д. 1; тел.: 8-926-266-60-75; tyrin1983@gmail.com

**Ковачева Николина Петкова**, доктор биологических наук, заведующий лабораторией марикультуры беспозвоночных ФГБНУ ВНИРО, 107140, г. Москва, улица Красносельская Верхн., д. 1; тел.: 8-916-420-52-33; kovatcheva@vniro.ru

### A.V. ZHIGIN, V.A. ARYSTANGALIYEVA

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

### D.V. TYRIN, N.P. KOVACHEVA

Federal state budgetary research institution «All-Russian research institute of Fishery and oceanography» (VNIRO), Moscow, Russia

## DETERMINATION OF THE OPTIMAL TEMPERATURE AND CONSUMPTION OF OXYGEN IN REARING YOUNG AUSTRALIAN RED CLAWED CRAYFISH

*Australian Red Clawed Crayfish (Cherax quadricarinatus) possesses valuable consumer, economic qualities and is a promising object of breeding. The aim of the investigation was to determine the optimal water temperature in which there is the best combination of growth rate, survival and other indicators of the Red Clawed Crayfish growing in the circulation system and further study of oxygen needs of fish babies in the optimum range of water temperature. Baby fishes aged 60 days after hatching were grown in four identical aquariums of circulation and water treatment volume of 180 liters during 70 days at a stocking rate of 44.4 pcs/m<sup>2</sup>. In determining oxygen demands there was used a glass aquarium of the total volume of 49 liters, the method of the closed vessel and balance calculations. For rearing baby fishes there is recommended as the optimum temperature range 27.1...29.0°C, water temperature 25.1...27.0°C can be considered acceptable for efficient growing. In the temperature range 27...29°C specific oxygen consumption by baby fishes*

with an average individual weight of  $7.23 \pm 1.62$  grams was  $871.1 \pm 273.8$  mg per 1 kg of the body weight per hour, and decreased to  $427.7 \pm 107.2$  mg/kg per hour according to the weight growth of individuals up to  $14.81 \pm 3.07$  g.

*Australian Red Clawed Crayfish, Cherax quadricarinatus, rearing juveniles, water temperature, oxygen consumption, circulation systems.*

### References

1. Borisov R.R., Kovacheva N.P., Akimova M.Yu., Parshin-Chudin A. Biologiya i kul'tivirovanie avstralijskogo krasnokleshneвого raka *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868). M.: Izd-vo VNIRO, 2013. 48 c.

2. Lawrence C., Jones C. Chapter 17. *Cherax*. In: Biology of Freshwater Crayfish. Hol-dich D.M. (Ed.) // UK, Oxford: Blackwell Science. 2002. P. 635-670.

3. Xiaoxuan C., Zhixin W., Licai H. Effects of Water Temperature on Ingestion and Growth of *Cherax quadricarinatus* // Journal of Huazhong Agricultural. 1995 (In Chinese with English Abstract).

4. Meade M.E., Doeller J.E., Kraus D.W., Watts S.A. Effect of temperature and solinity on weight gain, oxygen consumption rate, and growth efficiency in juvenile red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* // Journal of the World Aquaculture Society. 2002. V. 33. № 2. P. 188-198.

5. Sushchenya L.M. Intensivnost' dyhaniya rakoobraznyh. Kiev: «Naukova dumka», 1972. 195 s.

6. Zhigin A.V. Potreblenie kisloroda gigant-skimi presnovodnymi krevetkami pri soderzhanii v ikusstvennyh usloviyah // Materialy i doklady mezhdunar. nauch. – pract. conf. «Ratsionalnoe ispol'zovanie presnovodnyh ekosistem – perspektivnoye napravlenie realizatsii natsional'nogo proekta «Razvitie APK», 17-19 dekabrya 2007 g. / GNU VNIIR. M.: Izd-vo Rossel'khozacademii, 2007. S. 161-163.

7. Tyrin D.V. Biotehnicheskie osnovy soderzhaniya kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* i amerikanskogo omara *Homarus americanus* v ustanovkakh s zamknutym vodoispol'zovaniem: Dissertatsiya

na soiskanie uchenoj stepeni cand. s.-h. nauk. M.: RGAU-MSHA, 2011. 141 s.

8. Tyrin D.V., Arystangalieva V.A. Potreblenie kisloroda i intensivnost' dyhaniya gigant-skoy presnovodnoj krevetki *Macrobrachium rosenbergii* v ikusstvennyh usloviyah // Agrarnaya nauka. 2013. № 2. S. 25-27.

9. Zhigin A.V. Zamknutyie sistemy v akvakul'ture: Monografiya. M.: Izd-vo RGAU-MSHA im. C.A. Timiryazeva, 2011. 664 s.

The material was received at the editorial office  
28.02.2017

### Information about the authors

**Zhigin Alexey Vasiljevich**, doctor of agricultural sciences, associate professor, professor of the chair of aquaculture and bee keeping, RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d. 49; tel.: 8-905-773-83-68; azhigin@gmail.com.

**Arystangalieva Venera Adilovna**, post graduate student of the chair of aquaculture and bee keeping, RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d. 49; tel.: 8-926-859-06-33; bakyt\_kusy\_kz@mail.ru.

**Tyrin Dmitry Vladimirovich**, candidate of agricultural sciences, senior researcher of the laboratory of invertebrates mariculture FGBNU VNIRO, 107140, Moscow, ulitsa Krasnosel'skaya Verhn., d. 1; tel.: 8-926-266-60-75; tyrin1983@gmail.com

**Kovacheva Nikolina Petkova**, doctor of biological sciences, head of the laboratory of invertebrates mariculture FGBNU VNIRO, 107140, Moscow, ulitsa Krasnosel'skaya Verhn., d. 1; tel.: 8-916-420-52-33; kovatcheva@vniro.ru

## ПЕРЕЧЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ И УСЛОВИЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ

### Общие требования

К изданию принимается ранее не опубликованное автором произведение – научная статья, практическая или обзорная статья, научная рецензия и отзыв в следующие рубрики журнала:

- 05.23.00 Строительство и архитектура;
- 06.01.00 Агрономия;
- 06.03.00 Лесное хозяйство;
- 06.04.00 Рыбное хозяйство.

Разделы журнала соответствуют **Номенклатуре специальностей научных работников**, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 № 59 (в ред. Приказов Минобрнауки РФ от 11.08.2009 № 294, от 10.01.2012 № 5), и **Паспортам научных специальностей**, разработанных экспертными советами ВАК Минобрнауки России.

В редакцию журнала статья подается в **электронном виде** (файл формата Microsoft Word 97-2003). Текст статьи должен быть предварительно отредактирован автором или редактором, даты, формулы, имена и фамилии ученых, авторов литературных источников – выверены. Объем статьи не должен превышать 10–12 страниц. **Материал в статье следует излагать структурировано:**

- введение;
- материал и методы;
- результаты и обсуждение;
- выводы (заключение);
- библиографический список.

Журнал «Природообустройство» является **рецензируемым**. Все принятые статьи проходят процедуру обязательного рецензирования. Выбор рецензента осуществляет Редакционный совет. **Порядок рецензирования рукописей статей** размещен в сети Интернет по адресу <http://www.timacad.ru/deyatel/izdat/priroda/index.php>. Рецензии хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

### Правила оформления

1. Статья должна представлять единый файл Microsoft Word 97-2003. Название файла – прописными буквами по фамилии первого автора.

2. Отступ справа, сверху и снизу – 2 см, слева – 2,5 см. Шрифт Times New Roman, по всей статье интервал – 1,5 пт, шрифт 14. Нумерация страниц – по нижнему краю посередине, первая страница не нумеруется.

3. Вверху страницы ставят номер универсальной десятичной классификации (**УДК**): выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.

4. На следующей строке **инициалы и фамилии авторов**: шрифт полужирный, выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.

5. Указывается **официальное название места работы, город, страна**: шрифт обычный, выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.

6. **Название статьи** в прописном регистре, полужирный, выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.

7. **Аннотация** статьи на русском и английском языках: абзацный отступ 1,0 см; шрифт курсивный; выравнивание по ширине; рекомендуемый объем 200...250 слов (не более 2000 символов); необходимо осветить цель исследования, методы, результаты (желательно с приведением количественных данных), четко сформулировать выводы; не допускаются разбиение на абзацы и использование вводных слов и оборотов.

8. **Ключевые слова** на русском и английском языках: абзацный отступ 1,0 см; шрифт курсивный; выравнивание по ширине; рекомендуемый объем от 5 до 10 слов или словосочетаний.

9. **Автоматизированный перевод с помощью программных систем запрещается**.

10. Основной текст статьи должен быть набран шрифтом обычного начертания, абзацный отступ 1,0 см, интервал: перед и после – 0 см.

11. Буквы латинского алфавита – курсивного начертания, буквы греческого и русского алфавитов, индексы и показатели степени, математические символы  $\lim$ ,  $\lg$ ,  $\ln$ ,  $\sin$ ,  $\cos$ ,  $\min$ ,  $\max$  и др., числа подобия – прямого начертания.

12. Обратить внимание на различие знаков: дефис «-», минус «-» и тире «-». Диапазон любых значений (...), кроме периода лет (тире).

13. **Набор формул.** Использовать редактор формул Math Type 5.x либо Equation 3.0, шрифт Times New Roman, размер 11 пт, выравнивание по левому краю без абзацного отступа. Для удобства при верстке длина формулы не должна превышать 8 см. Нумеровать только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. **Суммарное число формул – не более 10.** Экспликация к формулам набирается шрифтом Times New Roman, размер 14 пт, без абзацного отступа, выравнивание по ширине страницы.

14. **Таблицы и рисунки** помещать за первой ссылкой на них в тексте, после абзаца. Выравнивание таблиц и рисунков по центру. Все таблицы и рисунки должны иметь ссылки с указанием номера (если рисунок и таблица единственные, то номер не указывается).

15. Толщина основных линий в таблицах – 0,25 пт. **Число таблиц** – не более 2. Номер таблицы: шрифт 11 пт, обычный, выравнивание по правому краю, без абзацного отступа. Название таблицы: шрифт 11 пт, полужирный, выравнивание по центру, без абзацного отступа.

16. **Рисунки** выполнять на компьютере в виде отдельного файла: в растровых форматах TIFF, JPG; в векторных форматах CDR, DWG, EPS. Выполнение рисунка средствами Microsoft Word не допускается. Ширина рисунка – не более 8 см, обозначения на рисунке делать шрифтом Times New Roman (9 пт). Рисунки с большим количеством деталей (сложные схемы, графики) размещать на всю ширину страницы (16,5 см). Фотографии выполнять с разрешением не менее 600 dpi. Допускается выполнение графиков и диаграмм в Microsoft Word 97-2003 и StatSoft Statistica 6.0 (и выше). Общее число рисунков (включая буквенное обозначение ее части) – не более 4. Текст подрисуночной подписи набирается шрифтом 14 пт, начертание полужирное, выравнивание по центру или по ширине страницы; экспликация рисунка после знака «:» тем же шрифтом, начертание обычное.

17. **Обозначения, термины и иллюстративный материал** привести в соответствие с действующими государственными стандартами.

18. Статья должна обязательно содержать **вывод(ы)** (заголовок: шрифт 14 пт, начер-

тание полужирное, выравнивание по центру, без абзацного отступа).

19. **Библиографический список** должен быть составлен в соответствии с последовательностью ссылок в тексте. Ссылки на литературу по тексту помещать в квадратных скобках, в конце предложения перед точкой, оформлять по ГОСТ 7.0.5–2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». От основного текста список отделять пустой строкой с полуторным интервалом (начертание полужирное, выравнивание по центру, без абзацного отступа). Список нумеровать в порядке упоминания в тексте, каждый источник на отдельной строке, абзацный отступ – 0,5 см, выравнивание по ширине страницы, начертание обычное.

20. Все **аббревиатуры** необходимо пояснить – дать полный текст названия документа, организации, вида работ, процесса и др.

21. После библиографического списка на русском языке приводятся краткие сведения об авторах: ФИО, ученая степень (звание), должность, контактный телефон, e-mail (шрифт курсивный, выравнивание по ширине страницы, без абзацного отступа, межстрочный интервал одинарный, ФИО выделяется полужирным курсивом).

Главные критерии при отборе материалов для публикации: соответствие рубрикам журнала, актуальность и уровень общественного интереса к рассматриваемой проблеме, новизна идей, научная и фактическая достоверность представленного материала, четкая формулировка предложенного и наличие выводов.

**Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**

При приеме статьи автор подписывает согласие на передачу Редакции периодического издания «Природообустройство» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) прав на издание и распространение статьи без ограничения срока, района распространения журнала и без выплаты вознаграждения.

**Для авторов из сторонних организаций обязательно наличие квитанции об оплате годовой подписки на журнал (индекс в каталоге «Пресса России» – 80746).**

#### **Прием статей**

По вопросам публикации статей обращаться по телефону: 8 (499) 976-36-67.

E-mail: priodamgup@mail.ru

<http://www.timacad.ru/deyatel/izdat/priroda/>



# ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО

**3' 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<sup>1</sup>/<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: prirodamgup@mail.ru

Издательство РГАУ-МСХА  
127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, дом 44  
Тел. 8 (499) 977-00-12, 8 (499) 977-14-92