



ИД «Академия Естествознания»

# УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 2 2024



# ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 2 2024



PH Academy of Natural History

# Успехи современного естествознания

Научный журнал

Журнал издается с 2001 года.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство – ПИ № ФС 77-63398.

«Успехи современного естествознания» – рецензируемый научный журнал, в котором публикуются статьи обладающие научной новизной, представляющие собой результаты завершённых исследований, проблемного или научно-практического характера, научные обзоры.

Журнал включен в действующий Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК РФ). К2.

Журнал ориентируется на профессиональных работников сельского хозяйства, экологов, научных сотрудников, специалистов в смежных областях знаний, занимающихся изучением наук о земле.

Основные научные направления: 1.6. Науки о Земле и окружающей среде, 2.8. Недропользование и горные науки, 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство.

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

*Ледванов Михаил Юрьевич*, д.м.н., профессор

## Технический редактор

Доронкина Е.Н.

## ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

*Курзанов Анатолий Николаевич*, д.м.н., профессор

## Корректор

Галенкина Е.С.,

## ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

*Бизенкова Мария Николаевна*, к.м.н.

Дудкина Н.А.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент *Абдулвалеев Р.Р.* (Уфа); д.г.-м.н., проф., *Абилхасимов Х.Б.* (Астана); д.т.н., проф. *Айдосов А.* (Алматы); д.г.-м.н., проф., *Алексеев С.В.* (Иркутск); д.х.н., проф., *Алоев В.З.* (Нальчик); д.г.н., проф. *Андреев С.С.* (Ростов-на-Дону); д.г.н., доцент, *Андреева Е.С.* (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., доцент *Анищенко Л.Н.* (Брянск); д.с.-х.н., проф. *Байрамбеков Ш.Б.* (Камызяк); д.т.н., проф. *Бейсембаев К.М.* (Караганда); д.т.н., проф. *Белозеров В.В.* (Ростов-на-Дону); д.б.н., доцент *Белоус О.Г.* (Сочи); д.с.-х.н., проф. *Берсон Г.З.* (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. *Бондарев В.И.* (Екатеринбург); д.т.н., профессор *Галкин А.Ф.* (Ухта); д.г.-м.н., проф. *Гавришин А.И.* (Новочеркасск); д.с.-х.н., *Горбачева А.Г.* (Пятигорск); д.с.-х.н., *Горянин О.И.* (Самара); д.г.-м.н., проф. *Гусев А.И.* (Бийск); д.с.-х.н., проф. *Данилин И.М.* (Красноярск); д.б.н., доцент *Долгов А.В.* (Мурманск); д.э.н., проф. *Долятовский В.А.* (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. *Дресвянников А.Ф.* (Казань); д.г.н., проф. *Егорина А.В.* (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. *Ерофеев В.И.* (Томск); д.с.-х.н., проф. *Залесов С.В.* (Екатеринбург); д.с.-х.н., доцент *Захарченко А.В.* (Томск); д.с.-х.н., проф. *Зволинский В.П.* (Волгоград); д.х.н., проф. *Ивашикевич А.Н.* (Москва); д.б.н., доцент *Кавцевич Н.Н.* (Мурманск); д.т.н., проф. *Калякин С.А.* (Донецк); д.с.-х.н., проф. *Караев М.К.* (Махачкала); д.г.-м.н., проф. *Кашаев А.А.* (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. *Кобрунов А.И.* (Ухта); д.г.-м.н., доцент *Копылов И.С.* (Пермь); д.г.-м.н., проф. *Костицын В.И.* (Пермь); д.с.-х.н., проф. *Костылев П.И.* (Зерноград); д.э.н., проф. *Косыкова И.В.* (Самара); д.с.-х.н., *Коцарева Н.Б.* (Белгород); д.т.н., доцент *Кузьяков О.Н.* (Тюмень); д.г.-м.н., проф. *Кучеренко И.В.* (Томск); д.б.н., проф. *Ларионов М.В.* (Саратов); д.г.-м.н., проф. *Лебедев В.И.* (Кызыл); д.ф.-м.н., проф. *Лерер А.М.* (Ростов-на-Дону); д.г.н., проф. *Луговской А.М.* (Москва); д.г.-м.н., проф. *Мельников А.И.* (Иркутск); д.т.н., проф. *Мусаев В.К.* (Москва); д.т.н., доцент *Нехорошева А.В.* (Ханты-Мансийск); д.с.-х.н., *Никитин С.Н.* (Ульяновск); д.с.-х.н., *Оказова З.П.* (Владикавказ); д.с.-х.н., проф. *Партоев К.* (Душанбе); д.с.-х.н., проф. *Петелько А.И.* (Миценск); д.т.н., проф. *Петров М.Н.* (Красноярск); д.т.н., проф. *Пирумян Г.П.* (Ереван); д.с.-х.н., проф. *Проездов П.Н.* (Саратов); д.г.-м.н., проф. *Сакеев К.С.* (Бишкек); д.б.н. *Сибикеев С.Н.* (Саратов); д.с.-х.н., доцент *Сокольская О.Б.* (Саратов); д.т.н., проф. *Степанов В.В.* (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. *Тарасенко А.А.* (Тюмень); д.т.н. *Теплухин В.К.* (Октябрьский); д.э.н., проф. *Титов В.А.* (Москва); д.с.-х.н., проф. *Титов В.Н.* (Саратов); д.с.-х.н., проф. *Тихановский А.Н.* (Салехард); д.г.-м.н., проф. *Трофименко С.В.* (Нерюнгри); д.т.н., проф. *Ульрих Е.В.* (Кемерово); д.г.н., проф. *Чодураев Т.М.* (Бишкек); д.с.-х.н., проф. *Шамшиев Б.Н.* (Ош); д.т.н., проф. *Шантарин В.Д.* (Тюмень); д.т.н., проф. *Шатов А.А.* (Уфа); д.ф.-м.н., проф. *Ширатов Д.Ш.* (Улан-Удэ); д.т.н., проф. *Шишелова Т.И.* (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. *Шузунов Л.Ж.* (Нальчик); д.г.-м.н., проф. *Юргенсон Г.А.* (Чита); д.т.н., проф. *Яковенко Н.В.* (Воронеж); д.т.н., проф. *Ямалетдинова К.Ш.* (Челябинск)

ISSN 1681-7494

Электронная версия: <http://www.natural-sciences.ru>

Правила для авторов: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,775

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,368

Периодичность

12 номеров в год

Учредитель, издатель и редакция

ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес

105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя

440026, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Типография

ООО «НИЦ Академия Естествознания»

410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

E-mail

edition@rae.ru

Телефон

+7 (499) 705-72-30

Подписано в печать

29.02.2024

Дата выхода номера

29.03.2024

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

10,5

Тираж

1000 экз.

Заказ

УСЕ 2024/2

Распространяется по свободной цене

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России»: П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

# Advances in current natural sciences

Scientific journal

The journal has been published since 2001.

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications. Certificate – PI No. FS 77-63398.

«Advances in current natural sciences» is a peer-reviewed scientific journal that publishes articles of scientific novelty, which are the results of completed research, of a problematic or scientific-practical nature, scientific reviews.

The journal is included in the current List of peer-reviewed scientific publications (HCC RF). K2.

The journal is aimed at professional agricultural workers, environmentalists, researchers, specialists in related fields of study geosciences.

**Main scientific directions:** 1.6. Earth and environmental sciences, 2.8. Subsoil use and mining sciences, 4.1. Agronomy, forestry and water management.

## CHIEF EDITOR

**Ledvanov Mikhail Yurievich**, Dr. Sci. (Medical), Prof.

## Technical editor

Doronkina E.N.

## DEPUTY CHIEF EDITOR

**Kurzanov Anatoly Nikolaevich**, Dr. Sci. (Medical), Prof.

## Corrector

Galenkina E.S.,

Dudkina N.A.

## EXECUTIVE SECRETARY

**Bizenkova Maria Nikolaevna**, Cand. Sci. (Medical)

## EDITORIAL BOARD

D.Sc., Docent **Abdulvaleev R.R.** (Ufa); D.Sc., Prof. **Abilkhasimov Kh.B.** (Astana); D.Sc., Prof. **Aidosov A.** (Almaty); D.Sc., Prof. **Alekseev S.V.** (Irkutsk); D.Sc., Prof. **Aloev V.Z.** (Nalchik); D.Sc., Prof. **Andreev S.S.** (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent, **Andreeva E.S.** (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent **Anishchenko L.N.** (Bryansk); D.Sc., Prof. **Bayrambekov Sh.B.** (Kamyzyak); D.Sc., Prof. **Beisembaev K.M.** (Karaganda); D.Sc., Prof. **Belozеров V.V.** (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent **Belous O.G.** (Sochi); D.Sc., Prof. **Berson G.Z.** (Velikiy Novgorod); D.Sc., Prof. **Bondarev V.I.** (Ekaterinburg); D.Sc., Prof. **Galkin A.F.** (Ukhta); D.Sc., Prof. **Gavrishin A.I.** (Novocheboksarsk); D.Sc. **Gorbacheva A.G.** (Pyatigorsk); D.Sc. **Goryanin O.I.** (Samara); D.Sc., Prof. **Gusev A.I.** (Biysk); D.Sc., Prof. **Danilin I.M.** (Krasnoyarsk); D.Sc., Docent **Dolgov A.V.** (Murmansk); D.Sc., Prof. **Dolyatovsky V.A.** (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. **Dresvyannikov A.F.** (Kazan); D.Sc., Prof. **Egorina A.V.** (Ust-Kamenogorsk); D.Sc., Prof. **Erofeev V.I.** (Tomsk); D.Sc., Prof. **Zalesov S.V.** (Ekaterinburg); D.Sc., Docent **Zakharchenko A.V.** (Tomsk); D.Sc., Prof. **Zvolinsky V.P.** (Volgograd); D.Sc., Prof. **Ivashkevich A.N.** (Moscow); D.Sc., Docent **Kavtsevich N.N.** (Murmansk); D.Sc., Prof. **Kalyakin S.A.** (Donetsk); D.Sc., Prof. **Karaev M.K.** (Makhachkala); D.Sc., Prof. **Kashaev A.A.** (Irkutsk); D.Sc., Prof. **Kobrunov A.I.** (Ukhta); D.Sc., Docent **Kopylov I.S.** (Perm); D.Sc., Prof. **Kostitsyn V.I.** (Perm); D.Sc., Prof. **Kostylev P.I.** (Zernograd); D.Sc., Prof. **Kosyakova I.V.** (Samara); D.Sc., **Kotsareva N.V.** (Belgorod); D.Sc., Docent **Kuz'yakov O.N.** (Tyumen); D.Sc., Prof. **Kucherenko I.V.** (Tomsk); D.Sc., Prof. **Larionov M.V.** (Saratov); D.Sc., Prof. **Lebedev V.I.** (Kyzyl); D.Sc., Prof. **Lerer A.M.** (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. **Lugovskoy A.M.** (Moscow); D.Sc., Prof. **Melnikov A.I.** (Irkutsk); D.Sc., Prof. **Musaev V.K.** (Moscow); D.Sc., Docent **Nehorosheva A.V.** (Khanty-Mansiysk); D.Sc. **Nikitin S.N.** (Ulyanovsk); D.Sc. **Okazova Z.P.** (Vladikavkaz); D.Sc., Prof. **Partoev K.** (Dushanbe); D.Sc., Prof. **Petelko A.I.** (Mtsensk); D.Sc., Prof. **Petrov M.N.** (Krasnoyarsk); D.Sc., Prof. **Pirumyan G.P.** (Yerevan); D.Sc., Prof. **Proezdov P.N.** (Saratov); D.Sc., Prof. **Sakiev K.S.** (Bishkek); D.Sc. **Sibikeev S.N.** (Saratov); D.Sc., Docent **Sokolskaya O.B.** (Saratov); D.Sc., Prof. **Stepanov V.V.** (Saint Petersburg); D.Sc., Prof. **Tarasenko A.A.** (Tyumen); D.Sc. **Teplukhin V.K.** (Oktyabr'skiy); D.Sc., Prof. **Titov V.A.** (Moscow); D.Sc., Prof. **Titov V.N.** (Saratov); D.Sc., Prof. **Tikhonovskiy A.N.** (Salekhard); D.Sc., Prof. **Trofimenko S.V.** (Neryungri); D.Sc., Prof. **Ulrich E.V.** (Kemerovo); D.Sc., Prof. **Choduraev T.M.** (Bishkek); D.Sc., Prof. **Shamshiev B.N.** (Osh); D.Sc., Prof. **Shantarin V.D.** (Tyumen); D.Sc., Prof. **Shatov A.A.** (Ufa); D.Sc., Prof. **Shirapov D.Sh.** (Ulan-Ude); D.Sc., Prof. **Shishelova T.I.** (Irkutsk); D.Sc., Prof. **Shugunov L.Zh.** (Nalchik); D.Sc., Prof. **Yurgenson G.A.** (Chita); D.Sc., Prof. **Yakovenko N.V.** (Voronezh); D.Sc., Prof. **Yamaletdinova K.Sh.** (Chelyabinsk)

ISSN 1681-7494

Electronic version: <http://www.natural-sciences.ru>

Rules for authors: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>

Impact-factor RISQ (two-year) = 0,775

Impact-factor RISQ (five-year) = 0,368

Periodicity	12 issues per year		
Founder, publisher and editors	LLC PH Academy of Natural History		
Mailing address	105037, Moscow, p.o. box 47		
Editorial and publisher address	440026, Penza, st. Lermontov, 3		
Printing house	LLC SPC Academy of Natural History 410035, Saratov, st. Mamontova, 5		
E-mail	edition@rae.ru	Telephone	+7 (499) 705-72-30
Signed for print	29.02.2024	Number issue date	29.03.2024
Format	60x90 1/8	Conditionally printed sheets	10,5
Circulation	1000 copies	Order	YCE 2024/2

Distribution at a free price

Subscription index in the Russian Post electronic catalog: P7816

© LLC PH Academy of Natural History

## СОДЕРЖАНИЕ

### Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

#### СТАТЬИ

ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМНОЙ УСЛУГИ ОПЫЛЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ АГРОЛАНДШАФТОВ <i>Антилогова Д.Д.</i> .....	8
ПРОБЛЕМА УСТАНОВЛЕНИЯ ГРАНИЦ ЗОН ЗАЩИТНЫХ КАТЕГОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ТЕСТОВОГО УЧАСТКА СЫКТЫВДИНСКОГО ЛЕСХОЗА) <i>Евграфова И.М., Евграфов А.В., Симонян В.В., Чертес К.Л., Сидоренко А.В., Кузнецова О.Г.</i> .....	15
ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА В 2016–2021 ГГ. <i>Лямперт Н.А., Ничипорова И.П., Первышева О.А., Хорошевская В.О., Голубкина М.А., Лобченко Е.Е.</i> .....	22
ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ПОЧВЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОСОРБЕНТОВ <i>Соболева С.В., Есякова О.А., Воронин В.М.</i> .....	30
ПРОБЛЕМА МЕТАЛЛИЗАЦИИ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА <i>Харина Г.В., Алешина Л.В., Шалыгина Ж.В.</i> .....	36

### Геолого-минералогические науки (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)

#### СТАТЬЯ

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПЛАСТОВЫХ И ЗАКАЧИВАЕМЫХ ВОД НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ <i>Сальникова Ю.И.</i> .....	44
--	----

### Технические науки (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.9)

#### СТАТЬЯ

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРОДА ИННОПОЛИС (РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН) <i>Королев Э.А., Ескин А.А., Королев А.Э., Бариева Э.Р.</i> .....	54
---	----

### Физико-математические науки (1.6.22)

#### СТАТЬЯ

АНАЛИЗ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ОБЩЕДОЛЕВОЙ СОБСТВЕННОСТИ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ <i>Головки А.Н.</i> .....	61
--	----

---

**Сельскохозяйственные науки (4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений)**

**НАУЧНЫЙ ОБЗОР**

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА КОРИЧНЕВОГО РИСА**

*Салиева З.Т., Боркоев Б.М., Салиева К.Т.* ..... 67

**Сельскохозяйственные науки (4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация)**

**СТАТЬЯ**

**СООТНОШЕНИЕ ДИАМЕТРОВ КРОН И ДЕРЕВЬЕВ В ПЛОТНЫХ СОСНЯКАХ ПОДТАЕЖНО-ЛЕСОТЕПНОГО РАЙОНА СРЕДНЕЙ СИБИРИ**

*Вайс А.А., Козлов Н.В., Вараксин Г.С., Ануев Е.А.* ..... 75

## CONTENTS

### **Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)**

#### **ARTICLES**

ASSESSMENT OF POLLINATION ECOSYSTEM SERVICE FOR OPTIMIZING  
THE SPATIAL STRUCTURE OF THE AGRICULTURAL LANDSCAPE

*Anpilogova D.D.* .....8

THE PROBLEM OF ESTABLISHING THE BOUNDARIES OF ZONES  
OF PROTECTIVE CATEGORIES (ON THE EXAMPLE OF A TEST  
SITE OF SYKTYVKAR FORESTRY)

*Eygrafova I.M., Eygrafov A.V., Simonyan V.V.,  
Chertes K.L., Sidorenko A.V., Kuznetsova O.G.* ..... 15

CHANGES IN THE QUALITY OF SURFACE WATER IN THE TERRITORY  
OF THE CENTRAL FEDERAL DISTRICT IN 2016–2021

*Lyampert N.A., Nichiporova I.P., Pervysheva O.A.,  
Khoroshevskaya V.O., Golubkina M.A., Lobchenko E.E.* .....22

A PROMISING METHOD OF SOIL PURIFICATION FROM  
PETROLEUM PRODUCTS USING BIOSORBENTS

*Soboleva S.V., Esyakova O.A., Voronin V.M.* .....30

THE PROBLEM OF METALLIZATION OF SOILS OF URBANIZED  
TERRITORIES ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF YEKATERINBURG

*Kharina G.V., Aleshina L.V., Shalygina Zh.V.* .....36

### **Geological and mineralogical sciences (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)**

#### **ARTICLE**

RESULTS OF STUDIES ON THE COMPATIBILITY OF FORMATION AND  
INJECTED WATER IN HYDROCARBON FIELDS IN WESTERN SIBERIA

*Salnikova Yu.I.* .....44

### **Technical sciences (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.9)**

#### **ARTICLE**

FEATURES OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS  
OF TERRITORY FOR THE INNOPOLIS CITY CONSTRUCTION  
(TATARSTAN REPUBLIC)

*Korolev E.A., Eskin A.A., Korolev A.E., Barieva E.R.* .....54

### **Physical and mathematical sciences (1.6.22)**

#### **ARTICLE**

ANALYSIS OF SPECIALIZED SOFTWARE PRODUCTS FOR GEODETIC  
CONSTRUCTIONS OF LAND PLOTS ALLOCATED FROM COMMON  
SALT PROPERTY

*Golovko A.N.* .....61

---

**Agricultural sciences (4.1.2. Breeding, seed production and plant biotechnology)****REVIEW**

## CHEMICAL COMPOSITION AND PROPERTIES OF BROWN RICE

*Salieva Z.T., Borkoev B.M., Salieva K.T.* .....67

**Agricultural sciences (4.1.6. Forestry, forestry, forest crops, agroforestry improvement, greening, forest pyrology and taxation)****ARTICLE**THE RATIO OF THE DIAMETERS OF CROWNS AND TREES IN DENSE PINE  
FORESTS SUBTAEZHNO-LESOTEPNY DISTRICT OF CENTRAL SIBERIA

*Vays A.A., Kozlov N.V., Varaksin G.S., Anuev E.A.* .....75

## СТАТЬИ

УДК 911.9

DOI 10.17513/use.38212

**ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМНОЙ УСЛУГИ ОПЫЛЕНИЯ  
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ  
СТРУКТУРЫ АГРОЛАНДШАФТОВ****Анпилогова Д.Д.***ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,  
Москва, e-mail: d.anpilogova@mail.ru*

Перекрестное опыление насекомыми является важнейшим элементом агротехники многих плодовых, масличных и овощных культур. Наиболее эффективными насекомыми-опылителями, многократно посещающими цветки и способными к переносу большого объема пыльцевого груза, считаются пчелы (надсемейство *Apoidea*, секция *Anthophila*). В условиях недостаточного для насыщенного опыления количества домашних медоносных пчел (*Apis mellifera*) и их низкой эффективности в опылении ряда культур особую важность приобретает опыление энтомофильных сельхозкультур дикими пчелами. В настоящей работе изложены результаты крупномасштабной оценки состояния экосистемной услуги опыления сельхозугодий агроландшафта с высокой долей залежных земель при разных сценариях землепользования. Территория исследования расположена в Веневском районе Тульской области. Оценка базируется на моделировании распределения относительного индекса обилия опылителей по характеристикам земельного покрова в программной среде InVEST Crop Pollination. Сопоставление относительного обилия опылителей на разных типах земельного покрова показало, что источниками пчел-опылителей в агроландшафте выступают естественные экосистемы, в первую очередь лесные массивы и залежи на разной стадии постагрогенной сукцессии. Анализ зависимости обеспеченности опылением полей с энтомофильным компонентом в схемах севооборота от пространственной структуры агроландшафта при разных сценариях использования залежных земель показал, что при вводе в оборот неиспользуемых сельхозугодий сохранение небольших участков залежей в качестве энтомологических микрозаказников способствует значительному улучшению состояния экосистемной услуги опыления на исследуемой территории.

**Ключевые слова:** агроландшафт, залежные земли, земельный покров, опыление культурных растений, фауна пчел, экосистемные услуги

**ASSESSMENT OF POLLINATION ECOSYSTEM SERVICE  
FOR OPTIMIZING THE SPATIAL STRUCTURE  
OF THE AGRICULTURAL LANDSCAPE****Anpilogova D.D.***Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: d.anpilogova@mail.ru*

Insect pollination is critical for the production of many fruit and seed crops. Bees (superfamily *Apoidea*, group *Anthophila*) are considered as dominant plant pollinators, demonstrating high flower visitation rates and pollen loads. Since the number of domestic honeybees' colonies (*Apis mellifera*) is often insufficient for saturated pollination and efficiency of honeybees in pollination of some of crops is relatively low, wild bees are gaining the importance as crop pollinators. This paper presents a landscape-level assessment of the pollination ecosystem service provision of the farmland in a landscape with a high proportion of abandoned lands. The case study area is located in the Venev District, Tula Region, Russia. To assess the pollination ecosystem service provision, the InVEST Crop Pollination software was used. This index-based model quantifies and maps scores for relative pollinator abundance across the landscape. Comparison of the relative pollinator abundance on different land-cover types revealed the main habitats of wild bees in the study area – they are natural ecosystems, i.e. forests and abandoned lands at different stages of secondary succession. According to the analysis of the relationship between the landscape spatial structure under different land-use scenarios and the capacity of the landscape to provide the farmland with pollination ecosystem service, preservation of small fallow areas as entomological micro-reserves leads to a significant improvement of the pollination ecosystem service under the scenario of mass cultivation of abandoned agricultural lands.

**Keywords:** agricultural landscape, abandoned agricultural lands, land-cover, crop pollination, bee fauna, ecosystem services

Экологический процесс биотического перекрестного опыления цветковых растений имеет огромное значение как для воспроизводства популяций естественно произрастающих растений, так и для сельского хозяйства, где эффективный перенос пыльцы выступает обязательным элементом агротехники многих овощных, плодовых, технических и кормовых культур [1].

Важность опыления как жизнеобеспечивающей функции отмечалась еще в первых работах по проблематике экосистемных услуг (далее по тексту – ЭУ), однако основной массив исследований опыления как ЭУ стал формироваться с начала 2000-х гг., что связано с ростом мирового спроса на культуры, урожайность и качество семян которых зависят от перекрестного опыления,



и сокращением популяций диких опылителей [2]. Согласно исследованиям, наиболее эффективными насекомыми-опылителями являются пчелы (надсемейство *Apoidea*, секция *Anthophila*), поскольку регулярное посещение цветков является типичным элементом их поведения, а размер тела и характер опушения позволяют переносить большой объем пыльцевого груза [3, 4]. Ведущая роль в опылении сельхозкультур принадлежит домашним медоносным пчелам (*Apis mellifera*), однако количество их семей зачастую недостаточно для насыщенного опыления возделываемых культур, и, кроме того, медоносная пчела показывает низкую эффективность в опылении ряда растений [5]. Доказано также, что сочетание опылительной деятельности медоносных и диких пчел способствует повышению урожайности даже тех культур, на которых медоносная пчела работает вполне эффективно [6]. Приблизительно 9,5% мировой сельскохозяйственной продукции приходится на культуры, опыляемые дикими пчелами [7]. На территории России представлено 7 семейств пчел [8].

Исследования, направленные на включение оценок ЭУ в процесс управления агроландшафтами, приобретают в настоящее время особенную актуальность [2, 9]. В контексте опыления сельхозкультур управление должно быть нацелено на сохранение численности, видового и функционального разнообразия диких насекомых,

выступающих эффективными опылителями энтомофильных растений, возделываемых в конкретной местности. На обеспеченность сельхозугодий определенной территории опылителями влияет не только применяемая агротехника (технология распашки, применение инсектицидов и гербицидов и др.), но и структура земельного покрова агроландшафта: соотношение площадей и взаимное расположение разных типов угодий [10]. Целью настоящего исследования является оценка ЭУ опыления в агроландшафте с высокой долей неиспользуемых сельхозугодий при изменениях структуры земельного покрова, связанных с внедрением различных сценариев использования залежных земель.

### Материалы и методы исследования

В качестве модельной территории для оценки ЭУ опыления на крупномасштабном уровне выбран агроландшафт площадью 42 км<sup>2</sup>, расположенный в северо-западной части Веневского района Тульской области, в подзоне широколиственных лесов (рис. 1). Выбор территории исследования обоснован ее однородностью по почвенным условиям (оподзоленные черноземы), сравнительно высоким разнообразием классов земельного покрова и типов сельхозугодий (в том числе полевые севообороты с рапсом и многолетние травы с бобовым компонентом) и очень высокой долей залежей на ранней стадии постагрогенной сукцессии.

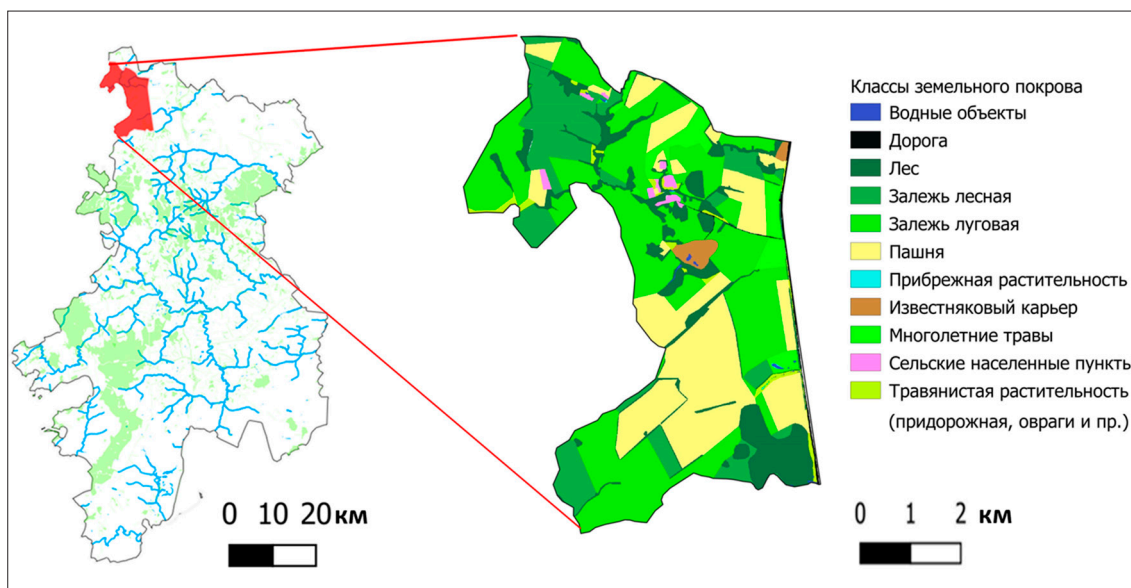


Рис. 1. Расположение модельной территории на карте Веневского района и карта земельного покрова

Оценка предоставленного объема ЭУ опыления в границах модельной территории проводилась в программной среде InVEST Crop Pollination. Данная программа позволяет рассчитать и визуализировать на карте относительный индекс обилия опылителей (далее по тексту – ИОО) по методике, предложенной в работе [11]. Данная модель (называемая моделью Лонсдорфа) является формализацией концептуальной схемы, описывающей процессы распределения опылительной деятельности в ландшафте и влияние изменений в сельскохозяйственном землепользовании на ЭУ

$$PA(x, s, j) = \left( \frac{RA(l(x), j) fa(s, j)}{FR(x, s)} \right) \frac{\sum_{x' \in X} PS(x', s) \exp\left(-\frac{D(x, x')}{\alpha_s}\right)}{\exp\left(-\frac{D(x, x')}{\alpha_s}\right)}, \quad (*)$$

где  $RA$  – индекс относительного обилия цветочных ресурсов для класса земельного покрова  $l$  в сезон  $j$ ;  $PS$  – индекс источников опылителей, вычисляемый по данным биофизической таблицы и таблицы гильдий;  $FR$  – индекс кормовых ресурсов для вида (гильдии)  $s$ ;  $fa$  – показатель фуражировочной активности вида  $s$  в сезон  $j$ ;  $D(x, x')$  – расстояние между пикселями  $x$  и  $x'$ ;  $\alpha$  – средняя дальность полета вида  $s$  (м).

Карта земельного покрова модельной территории (рис. 1) создана на основе классификации космического снимка WorldView-2 (от 21.08.2021) с пространственным разрешением 2 м с постобработкой. Флористический состав фитоценозов разных классов земельного покрова определялся в ходе полевых геоботанических исследований (2021–2023 гг.) по стандартным геоботаническим методикам. В границах объекта исследования выделено 11 классов земельного покрова, различающихся по категориям земель и важным для оценки опыления параметрам. Наибольшую долю в структуре земель имеют залежи на луговой стадии постагрогенной сукцессии (42,6%), на которых сформированы разнотравно-вейниковые ассоциации, образующие в течение вегетационного периода нектарно-пыльцевой конвейер. Доля пашни (полевых севооборотов с энтомофильным компонентом) составляет 20,7%. Мелколиственные лесные массивы и полезащитные лесополосы в совокупности занимают 12,7% площади. В то же время залежи, покрытые мелколиственной древесной расти-

тельности, по площади превышают леса: их доля достигает 16,7%. В табл. 1 представлена таблица гильдий, отражающая значимые для опыления сельскохозяйственных культур характеристики представленных на территории экологических групп диких пчел (гильдий): субстрат гнездования, период лёта по месяцам вегетационного периода, средняя дальность фуражировочных полетов и относительное обилие в сообществе. В основу проведенного для целей настоящей работы анализа апидофауны был положен аннотированный список видов ООПТ «Урочище Излучина», расположенной на территории Веневского района [14]. В анализ включено 99 видов диких гнездостроящих пчел из 6 семейств (*Colletidae*, *Andrenidae*, *Halictidae*, *Melittidae*, *Megachilidae*, *Apidae*). Первичным критерием для выделения гильдий выступал субстрат гнездования – почва, готовые полости, открытые места или мертвая древесина (перечень субстратов по [8]). Проведенный анализ позволил разделить обитающие на территории виды на 7 гильдий: шмели (*Bombus*); одиночные пчелы, гнездящиеся в мертвой древесине (*Wood-nesting*); одиночные пчелы, гнездящиеся в готовых полостях (*Cavity-nesting*); одиночные роющие пчелы весенне-раннелетней фенологической группы (*Ground-solitary1*); одиночные роющие пчелы летней группы (*Ground-solitary2*); одиночные бивольтинные виды с растянутым периодом лёта (*Ground-solitary3*); роющие пчелы с растянутым периодом лёта, ведущие примитивно-эусоциальный или субсоциальный образ жизни.

Таблица 1

Таблица гильдий

Гильдия	Субстрат гнездования				Активность по месяцам					Дальность полета, м	Обилие
	Готовые полости	Древесина	Откр. места	Почва	V	VI	VII	VIII	IX		
Bombus	0	0	1	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	500	0,2
Wood-nesting	0	1	0	0	0,05	0,3	0,3	0,3	0,05	300	0,1
Cavity-nesting	1	0	0	0	0,05	0,35	0,35	0,2	0,05	200	0,14
Ground-solitary1	0	0	0	1	0,33	0,34	0,33	0	0	250	0,14
Ground-solitary2	0	0	0	1	0	0,35	0,35	0,3	0	100	0,14
Ground-solitary3	0	0	0	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0	370	0,1
Ground-social	0	0	0	1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	400	0,18

Таблица 2

Биофизическая таблица

Класс земельного покрова	Субстрат гнездования (доступность)				Цветущие растения по месяцам (проективное покрытие)				
	Готовые полости	Древесина	Откр. места	Почва	V	VI	VII	VIII	IX
Залежь луговая	0,4	0	0,9	0,2	0,5	0,5	0,75	0,6	0,4
Залежь лесная	0,35	0	0,9	0,3	0,5	0,45	0,4	0,4	0,3
Древесная растит.	0,3	1	0,9	0,2	0,5	0,45	0,3	0,3	0,2
Луг	0,4	0	0,9	0,3	0,5	0,5	0,75	0,6	0,4
Вода	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Прибрежная растит.	0,4	1	0,9	0,3	0,5	0,5	0,75	0,6	0,4
Пашня	0,01	0	0,2	0,05	0,2	0,3	0,3	0,3	0,05
Многолетние травы	0,05	0	0,7	0,2	0,05	0,7	0,7	0,6	0,1
Населенные пункты	0,3	0,4	0,7	0,3	0,5	0,5	0,5	0,2	0,1
Известн. карьеры	0	0	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0
Дороги	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Значения параметров, приведенных в таблице гильдий, оценивались на основе литературных сведений об экологических особенностях составляющих гильдии видов в географически близких к Тульской области регионах.

Биофизическая таблица 2 отражает параметры классов земельного покрова, значимые с точки зрения опыления. Доступность субстратов гнездования и значения проективного покрытия цветущих энтомофильных растений установлены глазомерно в ходе полевых выездов в Веневский район (летний период 2021–2023 гг.).

### Результаты исследования и их обсуждение

Подготовленные входные данные были загружены в среду InVEST Crop Pollination для расчета ИОО и визуализации его распределения на карте модельной территории. Обеспеченность ландшафта опылением в июле во время массового цветения ярового рапса отражена на рис. 2. Значения индекса варьируют от 0 на полностью непригодных для пчел классах земельного покрова (асфальтированные дороги, вода) до 0,308 на залежах.

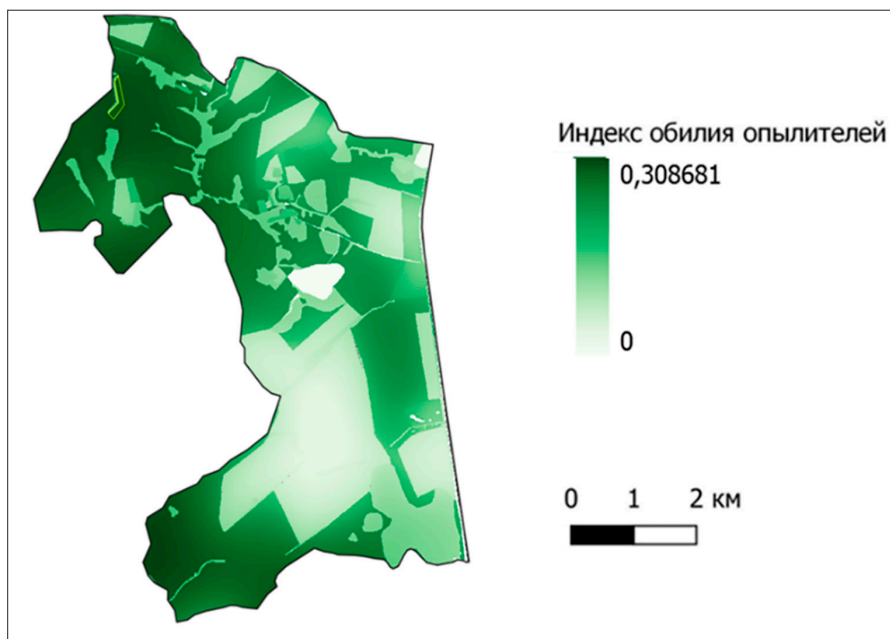


Рис. 2. Карта распределения ИОО на модельной территории

По карте визуально различима разница между пахотными землями и естественными экосистемами соизмеримых с ними площадей. Средние пиксельные значения ИОО по каждому классу земельного покрова отражают ценность каждого из них в качестве местообитания пчел-опылителей. Особый интерес в контексте данного исследования представляет ИОО на обрабатываемых пахотных землях: в границах модельной территории его значения находятся в диапазоне 0,002–0,266, снижаясь от краев полей к центру. Исходя из этих показателей, пахотные угодья значительно уступают по обилию опылителей залежным и другим естественным экосистемам, а их обеспеченность опылением в первую очередь зависит от сопредельных естественных экосистем.

Оценка обеспеченности сельхозугодий опылением требуется не только для сопоставления ИОО разных видов угодий и выявления источников опылителей в агроландшафте, но и для сравнения различных сценариев развития территории. В региональной программе по развитию сельского хозяйства Тульской области большое внимание уделяется работе по вовлечению в оборот неиспользуемых сельхозземель [15]. Как показано выше, залежные земли имеют значительную ценность для поддержки опылителей в ландшафте, поэтому особый интерес представляет состояние ЭУ опыления в случае введения в оборот

всех заброшенных угодий. На рис. 3, b, приведена карта земельного покрова, соответствующая этому сценарию: доля пахотных земель в пространственной структуре землепользования при реализации данного сценария возрастает с 20,7 до 78,9%. Введение залежей в оборот значительно увеличивает пахотные площади исследуемого агроландшафта, однако ликвидация источников кормовых и гнездовых ресурсов на залежах приводит к снижению обеспеченности сельхозугодий опылением.

Отмечено, что одним из эффективных инструментов охраны диких опылителей является сохранение небольшой доли залежных земель в качестве энтомологических микрозаказников [5]. На рис. 3, с, представлен возможный сценарий пространственного расположения микрозаказников на модельной территории. Целесообразно сохранить такие участки залежей, которые в случае распашки (сценарий – рис. 3, b) демонстрировали бы значения ИОО близкие к 0. Оценка сценария 3с в программе InVEST показывает, что при незначительном сокращении площади используемой пашни создание микрозаказников приводит к росту основных показателей распределения ИОО, в том числе минимального значения индекса, которое приближается к соответствующему показателю при текущем сценарии землепользования с высокой долей заброшенных угодий (табл. 3).

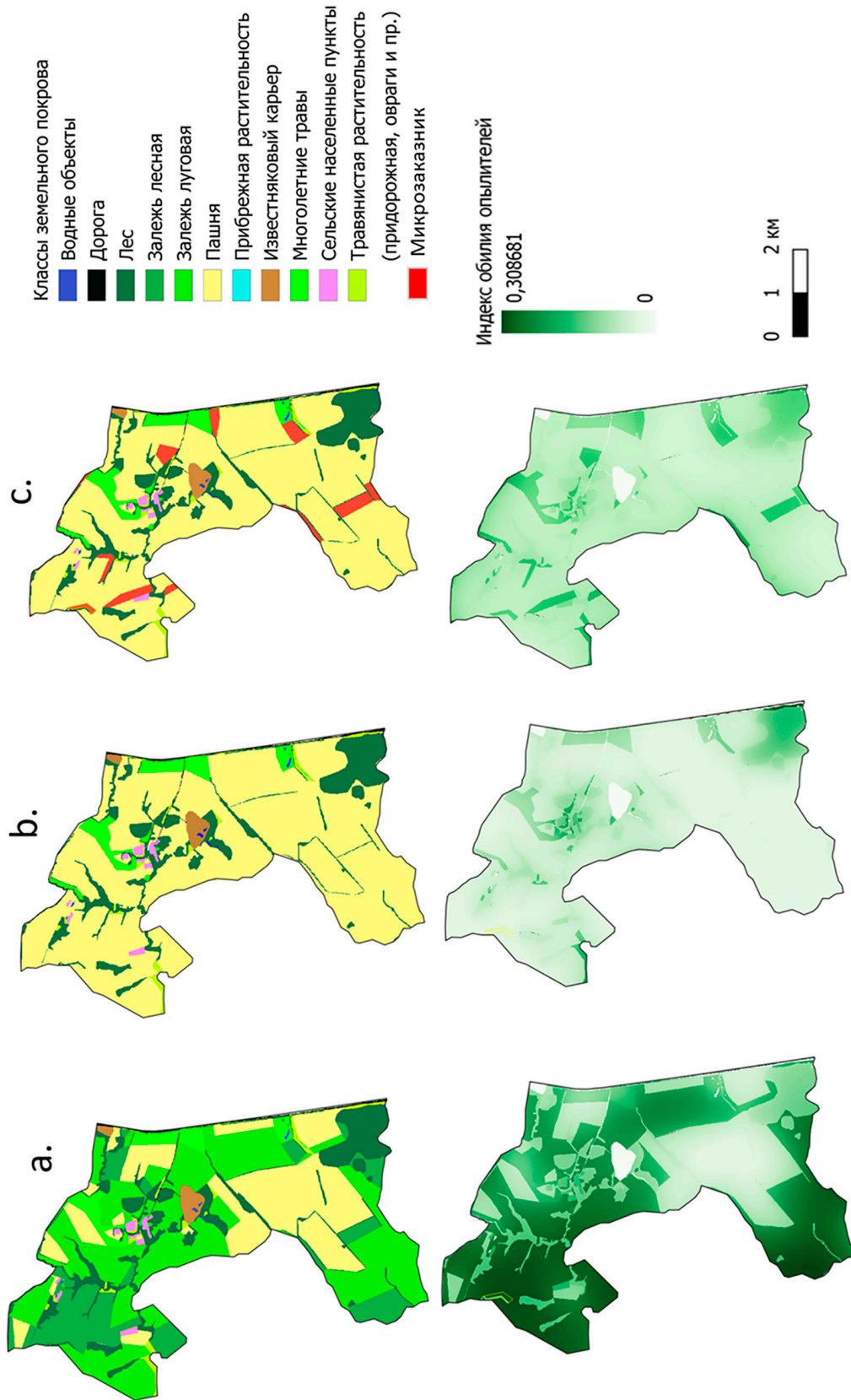


Рис. 3. Карта земельного покрова (сверху) и распределения ИОО (снизу):  
 а) текущая структура землепользования (на 2021 г.); б) введение в оборот всех залежей; в) создание микрорезервов

Статистические показатели ИОО  
при различных сценариях использования залежных земель

Сценарий землепользования	Текущая ситуация	100 % введение залежей в оборот	Создание микро-заказников
Доля пашни (%)	20,7	78,8	74,7
ИОО – max	0,266	0,115	0,184
ИОО – mean	0,073	0,026	0,050
ИОО – min	0,024	0	0,019
ИОО – st.dev	0,027	0,008	0,016

### Заключение

Приведенная в настоящей работе оценка ЭУ опыления в среде InVEST позволяет выявлять ценность разных типов угодий с точки зрения поддержания устойчивых популяций диких пчел-опылителей и сравнивать различные сценарии сельскохозяйственного землепользования, в частности использования уже сформированных экосистем залежей, для улучшения состояния ЭУ опыления культурных растений. Результаты оценки демонстрируют высокую ценность залежных земель на луговой и лесной стадиях сукцессии и перспективность превращения небольшой доли залежей в энтомологические микрозаказники при вводе в оборот необрабатываемых земель.

Данный подход к оценке ЭУ опыления может быть использован при внутрихозяйственном землеустройстве, направленном на организацию рационального использования земель сельхозназначения и, в частности, на повышение обеспеченности возделываемых энтомофильных культур перекрестным опылением.

### Список литературы

1. Baylis K., Lichtenberg E.M., Lichtenberg E. Economics of Pollination // *Annual Review of Resource Economics*. 2021. Vol. 13. P. 335–354. DOI: 10.1146/annurev-resource-101420-110406.
2. Bartholomé O., Lavorel S. Disentangling the diversity of definitions for the pollination ecosystem service and associated estimation methods // *Ecological Indicators*. 2019. Vol. 107. 48 p. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105576.
3. Наумкин В.П., Мазалов В.И. Насекомые – опылители агроценозов энтомофильных культур // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2016. № 3 (19). С. 114–118.
4. Willmer P.G., Cunnold H., Ballantyne G. Insights from measuring pollen deposition: quantifying the pre-eminence of bees as flower visitors and effective pollinators // *Arthropod-*

*Plant Interactions*. 2017. Vol. 11. P. 411–425. DOI: 10.1007/s11829-017-9528-2.

5. Ченикалова Е.В. Охрана и повышение эффективности природных опылителей в хозяйствах Ставропольского края // *Известия ОГАУ*. 2019. № 5 (79). С. 105–108.

6. Garibaldi L.A., Steffan-Dewenter I., Winfree R. [et al.]. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honeybee abundance // *Science*. 2013. Vol. 339 (6127). P. 1608–1611. DOI: 10.1126/science.1230200.

7. Gallai N., Salles J.-M., Settele J., Vaissière B.E. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline // *Ecological Economics*. 2009. № 68 (3). P. 810–821. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.06.014.

8. Радченко В.Г., Песенко Ю.А. Биология пчел (Hymenoptera, Apoidea). СПб.: Наука, 1994. 351 с.

9. Holt A.R., Alix A., Thompson A., Maltby L. Food production, ecosystem services and biodiversity: We can't have it all everywhere // *Science of The Total Environment*. 2016. Vol. 573. P. 1422–1429. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.139.

10. Nicholson C., Koh I., Richardson L., Beauchemin A., Ricketts T. Farm and landscape factors interact to affect the supply of pollination services // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2017. Vol. 250. P. 113–122. DOI: 10.1016/j.agee.2017.08.030.

11. Lonsdorf E., Kremen C., Ricketts T., Winfree R., Williams N., Greenleaf S. Modelling pollination services across agricultural landscapes // *Annals of botany*. 2009. Vol. 103 (9). P. 1589–1600. DOI: 10.1093/aob/mcp069.

12. Kremen C., Williams N.M., Aizen M.A. [et al.]. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change // *Ecology Letters*. 2007. Vol. 10 (4). P. 299–314. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x.

13. Sharp R., Douglass J., Wolny S. [et al.]. InVEST 3.9.2. User's Guide. The Natural Capital Project, Standford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund: Standford, CA, USA, 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.32693.78567.

14. Левченко Т.В., Ким А.Ю., Лакомов А.Ф. Пчелы (Hymenoptera: ariformes) памятника природы «Урочище излучина» Тульской области // *Вестник Тульского государственного университета*. 2021. С. 319–326.

15. Региональный доклад о состоянии и использовании земель Тульской области в 2020 году. Тула: Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Тульской области, 2021. 126 с.

УДК 550.423  
DOI 10.17513/use.38213

## ПРОБЛЕМА УСТАНОВЛЕНИЯ ГРАНИЦ ЗОН ЗАЩИТНЫХ КАТЕГОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ТЕСТОВОГО УЧАСТКА СЫКТЫВДИНСКОГО ЛЕСХОЗА)

<sup>1</sup>Евграфова И.М., <sup>2</sup>Евграфов А.В., <sup>1</sup>Симонян В.В.,  
<sup>3</sup>Чертес К.Л., <sup>4</sup>Сидоренко А.В., <sup>5</sup>Кузнецова О.Г.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет», Москва, e-mail: irina-sen811.yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА  
имени К.А. Тимирязева», Москва, e-mail: evgrafov-aleksey@mail.ru;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара,  
e-mail: chertes2007@yandex.ru;

<sup>4</sup>ПАО «МОЭК», Москва, e-mail: sidorenko@yandex-sidorenko.ru;

<sup>5</sup>ГБОУ «Школа № 1212», Москва, e-mail: o-g-k@list.ru

Актуальность темы исследования обусловлена несовершенством действующих подходов к выделению защитных лесов вдоль рек, в результате чего эти территории не в полной мере выполняют возложенные на них функции, либо необоснованно выведены из хозяйственного оборота. Цель работы – выделить категорию водоохранно-защитных лесов на основе научно обоснованного метода с применением ГИС-технологий на примере тестового участка на р. Сысола (в Сыктывдинском лесхозе). Современные ГИС-технологии предоставляют широкий спектр инструментов, позволяющих применять научно обоснованные подходы к выделению защитных лесов вдоль рек на основе всестороннего географического анализа. Для выделения водоохранно-защитной категории лесов на базе ГИС-технологий использовались следующие материалы: данные дистанционного зондирования Земли (многозональные космические снимки среднего пространственного разрешения, полученные со спутника Sentinel 2A/2B, снимки высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, доступные на картографических сервисах в открытых источниках); топографические карты масштаба 1:100000 с высотой сечения рельефа 10 м; электронные лесные карты, совмещенные с таксационными базами данных. В результате исследования были изучены роль и функции защитных лесов вдоль рек, рассмотрены различные подходы к выделению защитных лесов вдоль рек, апробирован научно обоснованный метод выделения водоохранно-защитных лесов М.В. Рубцова на основе применения ГИС-технологий на тестовом участке, дана оценка результатов выделения водоохранно-защитных лесов на рассматриваемом участке.

**Ключевые слова:** геоэкология, лесные карты, защитные зоны, ГИС-технологии, географический анализ

## THE PROBLEM OF ESTABLISHING THE BOUNDARIES OF ZONES OF PROTECTIVE CATEGORIES (ON THE EXAMPLE OF A TEST SITE OF SYKTYVKAR FORESTRY)

<sup>1</sup>Evgrofova I.M., <sup>2</sup>Evgrofov A.V., <sup>1</sup>Simonyan V.V.,  
<sup>3</sup>Chertes K.L., <sup>4</sup>Sidorenko A.V., <sup>5</sup>Kuznetsova O.G.

<sup>1</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, e-mail: irina-sen811.yandex.ru;

<sup>2</sup>Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev, Moscow,  
e-mail: evgrafov-aleksey@mail.ru;

<sup>3</sup>Samara State Technical University, Samara, e-mail: chertes2007@yandex.ru;

<sup>4</sup>PJSC MOEK, Moscow, e-mail: sidorenko@yandex-sidorenko.ru;

<sup>5</sup>School 1212, Moscow, e-mail: o-g-k@list.ru

The relevance of the research topic is due to the imperfection of existing approaches to the allocation of protective forests along rivers, as a result of which these territories do not fully perform their assigned functions, or are unreasonably withdrawn from economic circulation. The purpose of the work is to identify the category of water protection forests based on a scientifically based method using GIS technologies on the example of a test site on the Sysola River (in Syktyvkar forestry). Modern GIS technologies provide a wide range of tools that allow us to apply scientifically based approaches to the allocation of protective forests along rivers based on a comprehensive geographical analysis. To identify the water protection and protective category of forests based on GIS technologies, the following materials were used: remote sensing data of the earth (multi-zone satellite images of medium spatial resolution obtained from the Sentinel 2A/2B satellite, high and ultra-high spatial resolution images available on cartographic services in open sources); topographic maps of 1:100000 scale with a cross-section height terrain of 10 meters; electronic forest maps combined with tax databases. As a result of the study, the role and functions of protective forests along rivers were studied, various approaches to the allocation of protective forests along rivers were considered, a scientifically based method for allocating water protection and protective forests by M.V. Rubtsov was tested based on the use of GIS technologies in a test site, and the results of allocating water protection and protective forests in the area under consideration were evaluated.

**Keywords:** geoecology, forest maps, protective zones, GIS technologies, geographical analysis

Вследствие повышенного антропогенного воздействия речные долины являются объектом сосредоточения и развития эрозийных процессов, засорения и загрязнения почвы, воды и воздуха [1, 2]. Леса в долинах рек, а также на непосредственно прилегающих к ним территориях выполняют целый ряд хозяйственных и биосферных функций: являются источником древесины и недревесных продуктов и полезных лесов; преобразуют климатические факторы и создают благоприятный климат для человека, животных и растений; предотвращают или замедляют водную и ветровую эрозию; аккумулируют продукты эрозии, перехватывая частицы и предметы минерального, органического и другого происхождения; очищают воздух и воду от загрязнений; обогащают воздух кислородом и антибактериальными веществами; снижают шум [3].

Таким образом, леса вдоль рек имеют исключительно важное значение, как для народного хозяйства, так и для полноценного существования человека. Поэтому в них необходимо ведение особого режима хозяйства, направленного на сохранение защитных и санитарных функций леса. Для этого устанавливается категория водоохранных защитных лесов (ВЗЛ) вдоль рек [4].

В настоящее время леса вдоль большинства рек отнесены к защитным лесам различных категорий (относимым к лесам водоохранных зон, защитным полосам автомобильных и железных дорог или к ценным лесам, включающим запретные полосы лесов вдоль водных объектов и нерестоохраняемые). Для выделения применялся директивный метод, т.е. эти категории определялись путем присвоения им определенной ширины, в зависимости от протяженности реки без учета природно-климатических условий речной долины. Поэтому существующие защитные леса вдоль рек не могут полностью обеспечить выполнение возложенных на них функций: на отдельных участках ширина защитных лесов необоснованно завышена, а на других – уменьшена. Так, для р. Сысолы длиной 487 км директивно выделена нерестоохраняемая зона 800 м и водоохранная зона 200 м.

В то же время существуют научно обоснованные методы выделения защитных лесов вдоль рек. Так, метод М.В. Рубцова [5] основан на анализе морфометрических элементов речной долины, но метод не нашел широкого применения на практике ввиду сложности определения параметров морфометрических элементов речной долины.

Современные ГИС-технологии предоставляют широкий спектр инструментов, позволяющих применять научно обоснованные подходы к выделению защитных лесов вдоль рек на основе всестороннего географического анализа.

Цель исследования – выделить категорию водоохранных защитных лесов (ВЗЛ) на основе научно обоснованного метода с применением ГИС-технологий на примере тестового участка на р. Сысола (в Сыктывдинском лесхозе).

Задачи исследования:

- 1) изучение литературных источников, материалов лесоустройства, архивных данных;
- 2) подбор картографических материалов, аэрокосмических снимков, выделительных баз данных;
- 3) подготовка, установка, тестирование программных продуктов;
- 4) выделение категории водоохранных защитных лесов морфометрическим методом на базе ГИС-технологий;
- 5) подведение итогов и результатов исследования.

#### Материалы и методы исследования

Объектом исследования был тестовый участок на р. Сысола в Сыктывдинском районе. Сыктывдинский лесхоз (лесничество) находится в юго-западной части Республики Коми. Рельеф представляет полого-увалистую равнину, расчлененную развитыми речными долинами, почти плоскую в междуречьях. Почвы – пойменные, сильно подзолистые, подзолисто-болотные. Территория района расположена в подзоне средней тайги. Леса елово-сосновые с примесью березы, ольхи, осины.

М.В. Рубцов к категории ВЗЛ рекомендует относить пойму, склоны коренных берегов крутизной более 6° и водопоглощающую полосу [6]. Пойма реки и склоны коренных берегов составляют долинную часть норматива категории ВЗЛ, вдоль границ которой выделяется водопоглощающая полоса.

Для определения норматива категории водоохранных защитных лесов рекомендуется следующий порядок работ:

1. Выделение склонов коренных берегов крутизной более 6° по топографическим картам.
2. Выделение поймы реки по топографическим картам, аэрофотоснимкам, космическим снимкам, результатам полевых исследований. При этом пойма определяется по характерным признакам: наличием озера, стариц, аллювиальных наносов и на-



носов из прошлогодних ветвей, травы и т.п., гривистой структуре насаждений.

3. Выделение водопоглощающих полос. Водопоглощающая полоса примыкает к склонам крутизной более  $6^\circ$ , а при их отсутствии – к пойме реки. Ширина водопоглощающей лесной полосы зависит от крутизны склона, механического состава и водно-физических свойств почвы, лесоводственной характеристики насаждений в полосе, длины линии тока от ближайшего водораздела на концентрированной вырубке до водопоглощающей полосы и др. Эти факторы на склонах чрезвычайно изменчивы не только вдоль одной реки, но и в пределах каждого квартала в лесничестве. При определении водопоглощающих полос следует рассматривать только преобладающие в квартале или даже лесничестве уклон, механический состав почв и древесную породу в насаждениях на данной территории. Р.Д. Жилкиным была составлена таблица ширины полос в зависимости от механического состава почв, уклона территории и преобладающей породы. М.В. Рубцов на основе этой таблицы рекомендует применять следующие придержки при определении ширины водопоглощающих полос [7]:

50 м – для насаждений всех древесных пород на песчаных почвах с уклоном территории до  $10^\circ$ , и на супесчаных и суглинистых почвах с уклоном до  $5^\circ$ ;

100 м – для суглинистых почв с уклоном территории до  $5^\circ$  и супесчаных почв – с уклоном  $6-10^\circ$ ;

150 м – для насаждений всех древесных пород, кроме ели, произрастающих на суглинистых почвах при уклоне территории  $6-10^\circ$ ; 200 м – для еловых насаждений, произрастающих на суглинистых почвах при уклоне  $6-10^\circ$ .

М.В. Рубцов предложил также использовать стандартную ширину водопоглощающей полосы, равную 100 м. Это значение соответствует необходимой ширине водопоглощающей полосы для критических условий.

Выделение ВЗЛ по научно обоснованному нормативу, предложенному М.В. Рубцовым, сопряжено с определенными трудностями, обусловленными сложностью определения морфометрических элементов долины (ширины поймы, крутизны и длины склонов и др.) [8]. Эта работа требует анализа географической, т.е. пространственно распределенной информации. Для работы с ней используют специальные географические информационные системы (ГИС)

[9]. Применение ГИС-технологий позволяет значительно упростить выделение ВЗЛ, а также повысить точность их выделения. Применение данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) позволяет надежно выделить пойму реки и другие элементы долины. Географический анализ электронных топографических карт дает возможность с высокой точностью выделить морфометрические элементы речной долины. ГИС-технологии упрощают операцию по выделению водопоглощающих полос, исключению болот и заболоченных участков леса и т.д. Совмещение тематических слоев ВЗЛ, полученных разными способами, с выделительной электронной картой, проведение анализа и сравнения дает возможность оценки лесоводственно-таксационной характеристики защитных лесов.

Характерной тенденцией последнего времени является стремительное расширение возможностей оперативной актуализации геоданных, а также рост объема открытой пространственной информации. В свободном доступе находятся базовые пространственные данные (проекты OpenStreetMap, VMap0, VMap1), космические снимки с детальностью 10–30 м (LANDSAT, SENTINEL), цифровые модели рельефа (SRTM, ASTER GDEM), ряд источников тематических данных. Сейчас в лесном хозяйстве используется программное обеспечение от разных производителей: MapInfo, TopoL, GeoГраф/GeoDraw, ЛабМастер, WinGIS/WinMap, ArcGIS, ArcView, MapEDIT, ForsGIS и др. Таким образом, сложившаяся ситуация демонстрирует потребность в адаптации существующих ГИС-технологий под задачи лесного хозяйства и разработку соответствующего современным требованиям программного обеспечения.

Для выделения категории ВЗЛ по морфометрическому методу М.В. Рубцова применялось следующее программное обеспечение линейки ArcGIS: ArcCatalog, ArcMap, ArcToolBox, 3D Analyst, Spatial Analyst.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Выделение водоохранно-защитной категории лесов по морфометрическому методу на базе геоинформационных технологий произведено в следующей последовательности.

Для выделения склонов коренных берегов крутизной более  $6^\circ$  был произведен анализ рельефа местности в программном продукте Spatial Analyst. Основой были топографические карты с данными о рельефе (рис. 1).

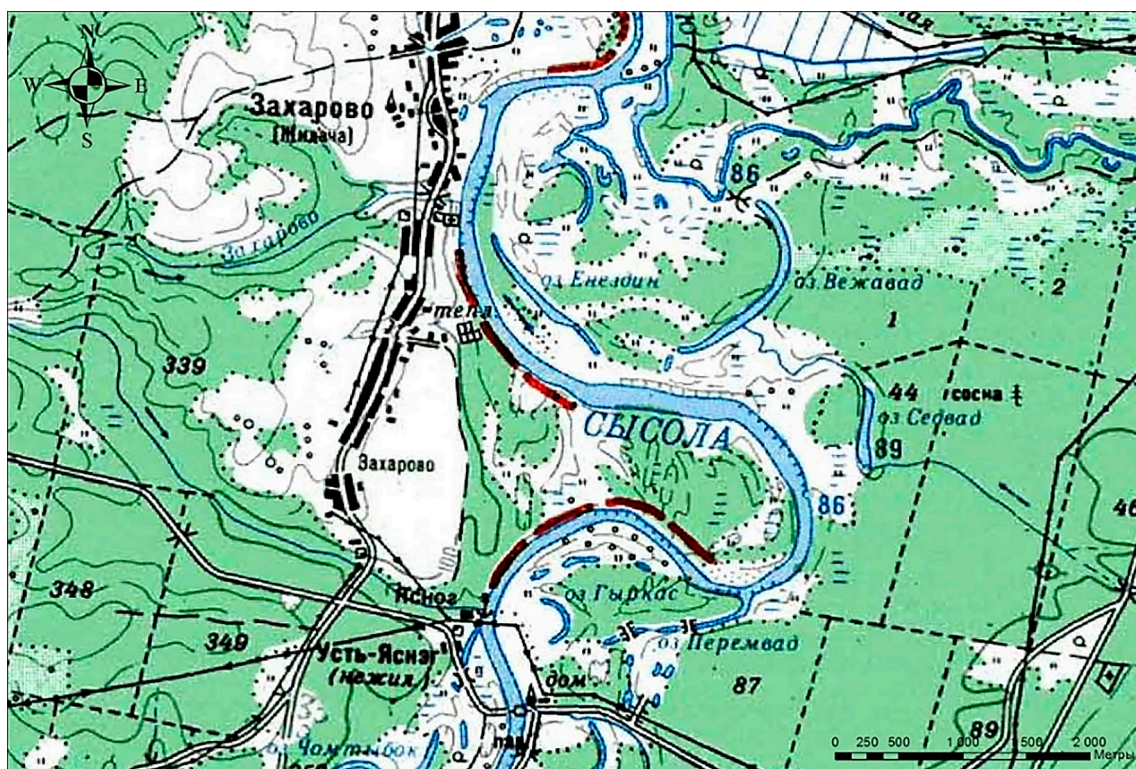


Рис. 1. Фрагмент топографической карты на тестовый участок

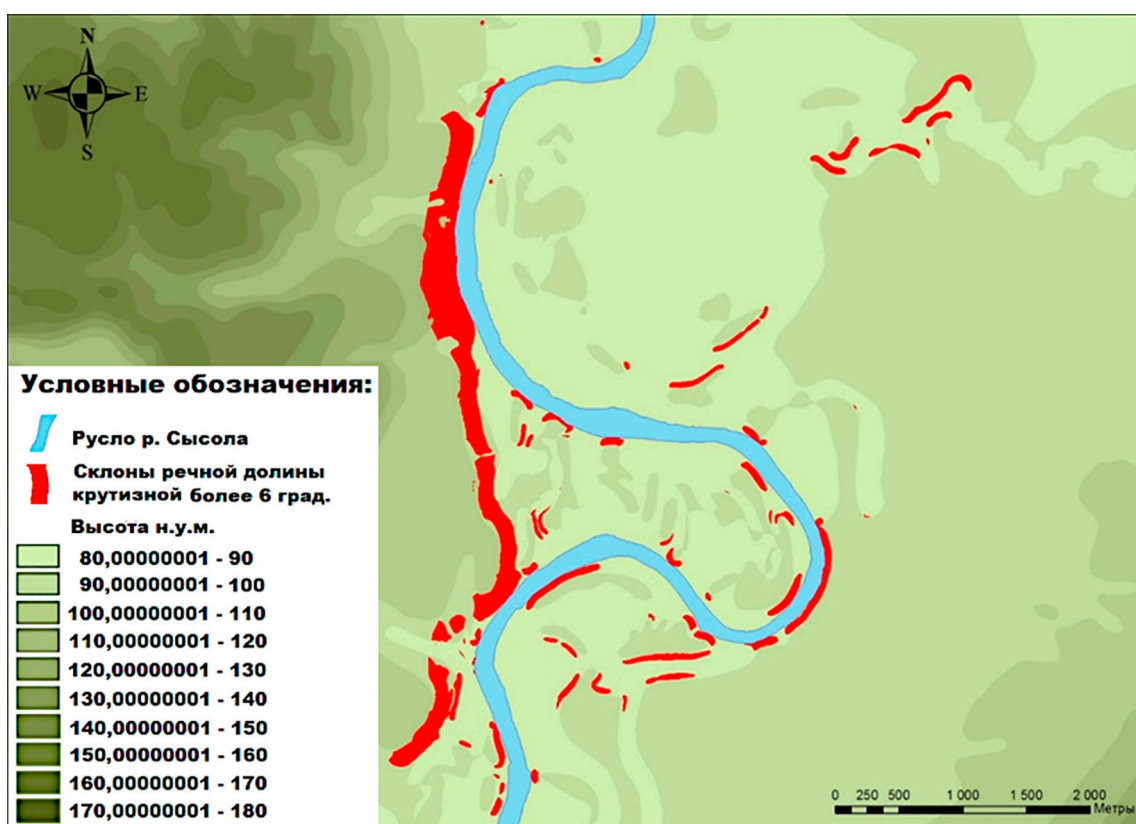


Рис. 2. Фрагмент цифровой модели рельефа долины р. Сысола и выявленные склоны коренных берегов крутизной более 6° на тестовом участке

В программном продукте ArcMap были оцифрованы изолинии рельефа и отметки высот. По этим данным в Spatial Analyst была построена цифровая модель рельефа, и на ее основе создана карта уклонов территории. Она была оформлена способом классификации таким образом, чтобы искомые участки с уклоном более 6° хорошо выделялись на фоне остальной территории (рис. 2).

Для речной поймы характерны выраженный ложбинно-грядистый рельеф, наличие аллювиальных отложений, большое количество стариц и озер, грядистая структура древостоев, т.е. лесные насаждения на пойме чередуются с открытыми пространствами, озерами и старицами. Перечисленные признаки поймы четко выражены на космических снимках. Применение снимков, полученных в период половодья, позволяет выделить речную пойму напрямую без учета косвенных признаков. В данной работе использовались снимки среднего пространственного разрешения Sentinel 2A\2B, полученные во время весеннего половодья, и снимки сверхвысокого пространственного разрешения, полученные в межливневый период.

В качестве вспомогательных использовались данные о рельефе и производные продукты, созданные путем тематической

обработки снимков Sentinel 2A\2B: классифицированное изображение и растр нормализованных дифференцированных вегетационных индексов – NDVI. Данные о ширине поймы, длине и расположению склонов коренных берегов крутизной более 6° были оцифрованы. Таким образом, была сформирована долинная часть норматива категории ВЗЛ.

Внешними границами норматива категории ВЗЛ являются водопоглотительные лесные полосы, ширина которых зависит от преобладающих уклона, механического состава почв и древесной породы на изучаемом участке местности. Инструментами ГИС на основе почвенных карт, электронных повыделных лесных карт (рис. 3) и данных о рельефе были получены эти величины, в соответствии с которыми рекомендуемая ширина полос составила 50 м для левого берега и 100 м для правого.

На рис. 4 представлена долинная часть норматива категории водоохранно-защитных лесов и водопоглотительные полосы на тестовом участке. Как видно из рис. 4, водопоглотительные полосы вдоль долинной части норматива были выделены автоматически путем построения буферных зон в ArcMap и на карте представлены в виде желтых полос.

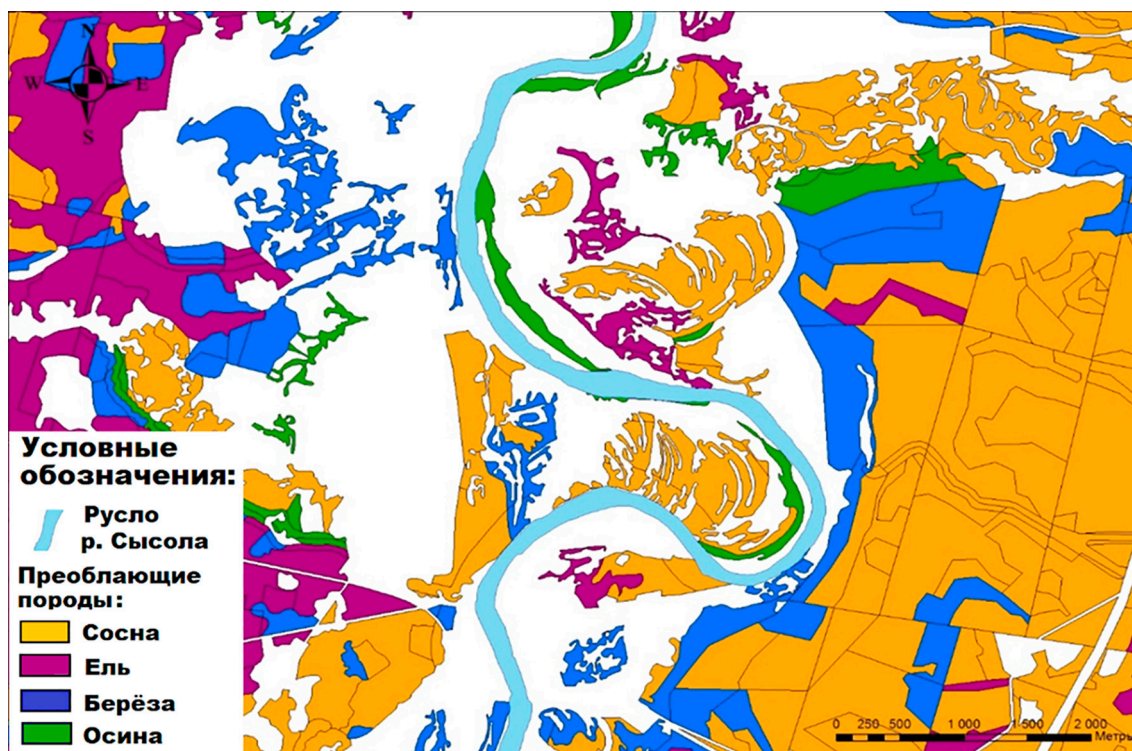


Рис. 3. Фрагмент электронной повыделной лесной карты на тестовый участок

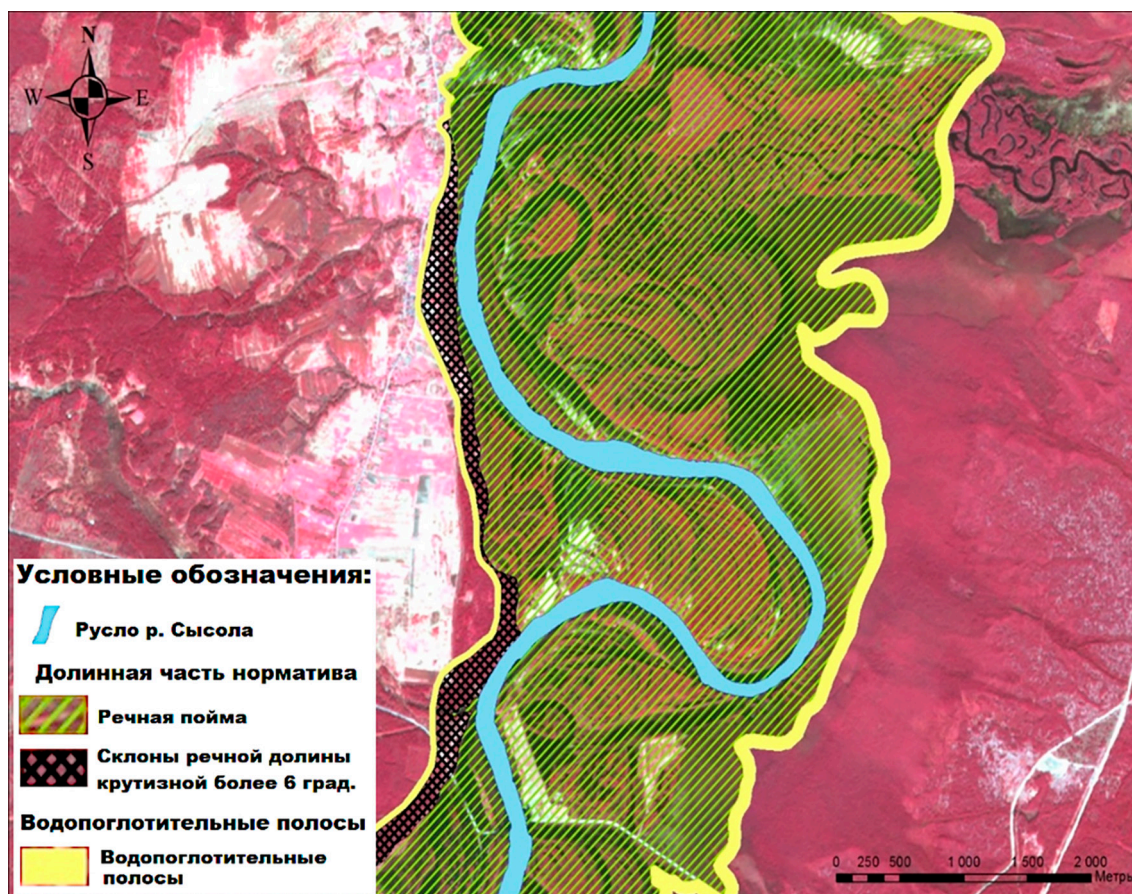


Рис. 4. Долинная часть норматива категории водоохранно-защитных лесов и водопоглощительные полосы на тестовом участке

### Заключение

Характеристика лесного фонда категории ВЗЛ осуществлялась путем построения запросов к повыведельной электронной лесной карте с присоединенной к ней таксационной базе данных и вычисления статистических оценок.

Разработанный подход с помощью применения ГИС-технологий позволил произвести уточнение границ зон защитных категорий. В результате выделения ВЗЛ вдоль изучаемого участка р. Сысола Сывтындинского лесхоза по морфометрическому методу определен норматив категории ВЗЛ шириной: для левого берега – от 200 до 2500 м, для правого – от 240 до 3600 м.

Анализ правовых требований и состояния исследований по теме статьи показал, что, несмотря на сугубо нормативный подход, утвердившийся в практике проектирования и установления защитных лесных полос и водоохранных зон, интерес к научно обоснованным ландшафтно-экологическим

методам их определения по-прежнему силен. Использование компьютерных средств открывает возможности для более тщательного учета местных геоморфологических и растительных условий. Апробированный в работе метод благодаря применению технологий ГИС позволил оптимизировать границы зон защитных категорий лесов и доказать экономический и экологический эффект от их уточнения. Результаты исследования могут быть полезны специалистам проектных землеустроительных и водохозяйственных организаций, разрабатывающим проекты специальных зон и территорий, аналитикам и должностным лицам исполнительных органов власти, утверждающим их границы, а также научным работникам лесного и водного хозяйства, изучающим влияние леса на сток рек.

### Список литературы

1. Султанова Д.С., Курамшина Н.Г. Эколого-правовые аспекты защитных лесов РФ и РБ незаконная вырубка в защитных лесах // Вестник науки. 2023. Т. 3, № 1 (58). С. 258–263.

2. Trujillo-Arias N., Serrano-Cardozo V.H., Ramirez-Pinilla M.P. Role of a campesine reserve zone in the Magdalena Valley (Colombia) in the conservation of endangered tropical rainforests // *Nature Conservation Research*. 2023. Т. 8, № 1. С. 49–63.
3. Выприцкий А.А. Анализ влияния геоморфологических характеристик территорий на сохранность государственных защитных лесных полос // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса // Наука и высшее профессиональное образование*. 2023. № 1 (69). С. 261–271.
4. Копылов Н.С. Загрязненность малых рек Санкт-Петербурга (река Лубья и река Оккервиль) // *Вестник науки. Серия: Науки о Земле и смежные экологические науки*. 2023. Т. 4, № 6 (63). С. 995–1002.
5. Желтова Д.В. Значение формирования водоохранных зон и прибрежных защитных полос // *Вестник науки*. 2023. Т. 4, № 8 (65). С. 440–443.
6. Слажнева С.С., Козырева Ю.В., Ненашева Г.И., Минакова А.Е. Оценка экологического состояния малых рек Алтайского края (на примере реки Касмала) // *Региональная экономика и управление: электронный научный журнал*. 2023. № 2 (74). С. 1–11.
7. Андреева А.М. К вопросу о несовершенстве юридической техники в земельном законодательстве на примере определения объектов, в отношении которых устанавливаются санитарно-защитные зоны // *Хозяйство и право*. 2023. № 7 (558). С. 54–62.
8. Желтова Д.В. Этапы определения границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос водных объектов // *Вестник науки*. 2023. Т. 4, № 8 (65). С. 455–458.
9. Мартынюк А.А., Турчин Т.Я., Корнеев А.Б. Изученность государственных защитных лесных полос европейской части Российской Федерации: аналитический обзор // *Лесохозяйственная информация*. 2023. № 3. С. 55–76.

## ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА В 2016–2021 ГГ.

Лямперт Н.А., Ничипорова И.П., Первышева О.А.,  
Хорошевская В.О., Голубкина М.А., Лобченко Е.Е.

*ФГБУ «Гидрохимический институт», Ростов-на-Дону, e-mail: n194547@yandex.ru*

Статья посвящена оценке изменения качества поверхностных вод за многолетний период на территории субъектов Центрального федерального округа России – региона с наиболее высокой антропогенной нагрузкой на окружающую среду. Комплексная оценка показала, что качество воды водных объектов на территории округа изменялось в широком диапазоне: от «условно чистая» и «слабо загрязненная» до «грязная» и «экстремально грязная». Большинство водных объектов Центрального федерального округа характеризуются удовлетворительным качеством воды («загрязненная»). Наиболее напряжена экологическая ситуация на территории Московской, Владимирской и Тульской областей, где, как правило, в преобладающем числе створов вода оценивалась как «грязная»; более благоприятная экологическая ситуация наблюдается на водных объектах Курской области. На основе анализа многолетних данных, полученных государственной наблюдательной сетью Росгидромета, выявлены характерные и критические загрязняющие вещества воды водных объектов для каждой из областей Центрального федерального округа. Наиболее широкий перечень критических показателей загрязненности и более частые случаи высокого загрязнения воды отмечены в водных объектах Московской области. Рассмотрено возможное влияние изменения водности и объема загрязненных сточных вод на качество поверхностных вод в течение многолетнего периода.

**Ключевые слова:** класс качества воды, характерные загрязняющие вещества, критические загрязняющие вещества, водность, загрязненные сточные воды, случаи высокого загрязнения

## CHANGES IN THE QUALITY OF SURFACE WATER IN THE TERRITORY OF THE CENTRAL FEDERAL DISTRICT IN 2016–2021

Lyampert N.A., Nichiporova I.P., Pervysheva O.A.,  
Khoroshevskaya V.O., Golubkina M.A., Lobchenko E.E.

*Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don, e-mail: n194547@yandex.ru*

The article is devoted to assessing changes in the quality of surface water over a long period of time on the territory of the constituent entities of the Central Federal District of Russia – the region with the highest anthropogenic load on the environment. A comprehensive assessment showed that the water quality of water bodies in the district varied over a wide range from “conditionally clean” and “slightly polluted” to “dirty” and “extremely dirty.” Most water bodies in the Central Federal District are characterized by satisfactory water quality (“polluted”). The ecological situation is most tense in the Moscow, Vladimir and Tula regions, where, as a rule, in the predominant number of sections the water was assessed as “dirty”; a more favorable environmental situation is observed in water bodies of the Kursk region. Based on the analysis of long-term data obtained by the state observation network of Roshydromet, characteristic and critical water pollutants of water bodies were identified for each of the regions of the Central Federal District. The widest list of critical indicators of pollution and more frequent cases of high water pollution were noted in water bodies of the Moscow region. The possible impact of changes in water content and volume of contaminated wastewater on the quality of surface water over a long-term period is considered.

**Keywords:** water quality class, characteristic pollutants, critical pollutants, water content, contaminated wastewater, cases of high pollution

В состав Центрального федерального округа (ЦФО) входят 17 территориальных субъектов и город федерального значения Москва. На территории ЦФО расположены бассейны крупнейших рек России: Волга, Дон, Днепр, Западная Двина. Округ занимает третье место по доле сброса загрязненных и недостаточно очищенных сточных вод в общем объеме водоотведения [1]. В большинстве бассейнов рек качество воды остается неудовлетворительным. Загрязнение сточными водами – главная угроза для водных ресурсов. К факторам негативного

воздействия следует отнести и диффузные источники загрязнения, и донные отложения [2], влияние которых в данной работе не рассматривалось. Основными поставщиками биогенных и органических веществ, относящихся к основным источникам эвтрофирования водных объектов, являются органические и минеральные удобрения, поступающие с поверхностным и подземным стоком с сельскохозяйственных территорий [3, 4]. Согласно литературным данным [5] с увеличением водности возможны изменения гидрохимического состояния воды:

а) концентрации загрязняющих веществ снижаются, что благотворно отражается на качестве воды; б) концентрации загрязняющих веществ увеличиваются, качество воды ухудшается.

В связи с этим актуально проанализировать воздействие отдельных видов антропогенных и природных факторов на качество воды водных объектов.

Цель исследования – оценить качество поверхностных вод на территории ЦФО. Выявить влияние на качество воды водных объектов изменений водного стока и объема сброса загрязненных сточных вод.

#### Материалы и методы исследования

При исследовании использованы данные гидрохимической информации, полученной государственной наблюдательной сетью (ГНС) Росгидромета за период с 2016 по 2021 г. Статистическая обработка данных о химическом составе воды водных объектов на территории ЦФО осуществлялась программой «Гидрохим ПК». Оценка качества воды по гидрохимическим показателям проведена согласно РД 52.24-2002 [6]. Использовалась информация по изменению водности и объемам сброса загрязненных сточных вод [7, 8].

#### Результаты исследования и их обсуждение

На территории округа ГНС проводит наблюдения на 167 водных объектах, на которых расположены 224 пункта, 354 створа.

Качество поверхностных вод на территории ЦФО разнообразно, в течение изучаемого периода вода в отдельных водных объектах изменялась от уровня «условно чистая» до уровня «грязная» и «экстремально грязная». В зависимости от значения рассматриваемой концентрации, частоты случаев превышения предельно допустимого критерия (ПДК) выделялись характерные и критические загрязняющие вещества [6].

Характерными загрязняющими веществами воды поверхностных вод на территории ЦФО являются легкоокисляемые органические вещества (по БПК<sub>5</sub>) (ЛОВ) и органические вещества (по ХПК) (биохимическое потребление кислорода за 5 суток и химическое потребление кислорода), соединения меди, железа. В зависимости от степени влияния естественных и антропогенных условий формирования химического состава в водных объектах отдельных областей к перечисленным веществам добавлялись: аммонийный и нитритный

азот в Московской, Тамбовской и Тульской, реже – Белгородской; соединения цинка – Московской, Смоленской, Тверской; фенолы – Владимирской, Московской, Тверской, Тульской, Ярославской; АСПАВ, фосфаты – Московской; нефтепродукты – Тамбовской.

Качество воды водных объектов в *Белгородской области* колебалось от уровня «загрязненная» до уровня «грязная», причем в большинстве створов преобладала «загрязненная» вода, что в процентном соотношении от общего числа створов составляло 61–72 % (рисунок).

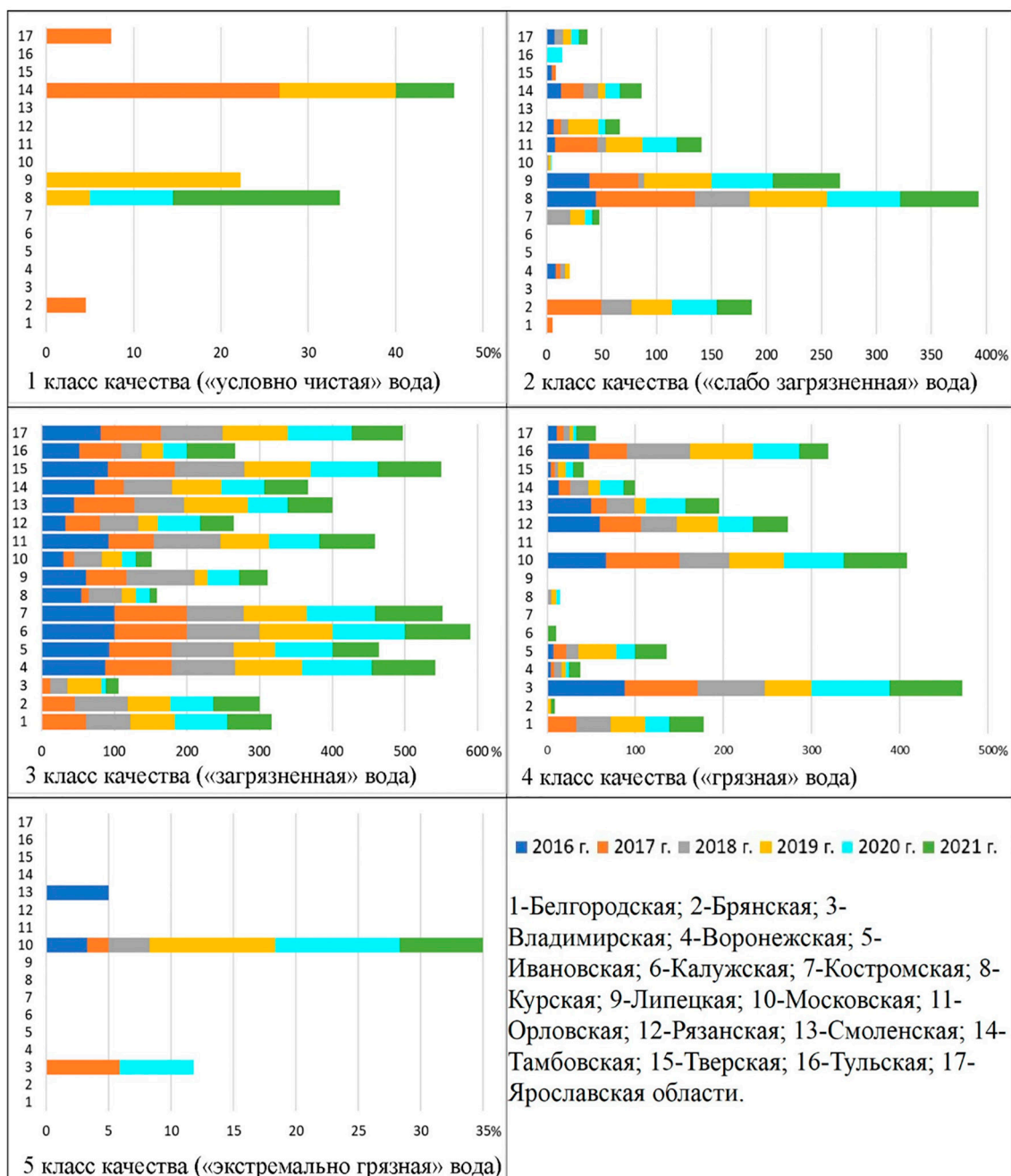
Чаще как «грязная» оценивалась вода в пунктах наблюдений р. Болховец – г. Белгород, р. Оскол – г. Старый Оскол, р. Оскол – г. Губкин. В 2017–2021 гг. вода Белгородского водохранилища ухудшилась до «грязной» в результате возрастания до критического уровня содержания в воде нитритного азота (2017–2021 гг.) и ЛОВ (2020–2021 гг.).

Водность водных объектов, за исключением 2018 г., была ниже средней многолетней. В 2020 г. при наиболее низкой водности (на 40,7% ниже средней многолетней) число створов, вода в которых оценивалась как «грязная», уменьшилось от 33,3–38,9% до 27,8% (табл. 1). Снижение объема загрязненных сточных вод в 2021 г. по отношению к 2016–2018 гг. на 14–18% (табл. 2) не отразилось на уменьшении числа створов с водой низкого качества («грязная»).

На территории *Брянской области* (р. Десна и ее притоки, притоки р. Днепр) качество воды водных объектов варьировало от уровня «слабо загрязненная» до уровня «загрязненная», что в процентном соотношении от общего числа створов соответственно составляло 45,5–73,0% и 27,0–50,0%. Загрязненность воды р. Снежень возрастала до уровня «грязная» в 2019–2021 гг. за счет увеличения концентраций аммонийного и нитритного азота в среднем до 2–4 ПДК.

В течение 2016–2021 гг. водные ресурсы области были ниже средних многолетних на 14–56%; в 2018 г. при самом благоприятном водном режиме в этот период состояние водных объектов не изменилось в лучшую сторону; число створов с «загрязненной» водой возросло до 72,7%.

Уменьшение объема сточных вод (на 14,3%) в 2020 г. в сопоставлении с 2016–2018 гг., существенно не повлияло на распределение числа створов между 2-м и 3-м классами качества («слабо загрязненная» и «загрязненная» вода).



*Динамика классов качества воды водных объектов ЦФО в 2016–2021 гг.  
(в % от общего числа створов на водных объектах области)*

В границах Владимирской области в р. Ока выше и ниже г. Муром и большинстве ее притоков, преобладала «грязная» вода; в р. Пекша и Ундолка – в отдельные годы «экстремально грязная». В целом по области число створов, вода в которых относилась к классу «грязных», в течение 6-летнего периода изменялось от 53 до 88,2%.

До критического уровня, превышающего критерии высокого загрязнения (ВЗ), возрас-

тала загрязненность воды р. Гусь аммонийным азотом, р. Клязьма у г. Владимир соединениями железа и ЛОВ; в р. Пекша и Ундолка фиксировали дефицит растворенного в воде кислорода. От «грязной» до «экстремально грязной» изменялась вода р. Бужа, высокое содержание органических веществ (по ХПК), соединений железа, аммонийного азота в которой обусловлено природными условиями – заболоченностью водосбора реки.



**Таблица 1**

Отклонение водности рек ЦФО от среднего многолетнего значения, % [7]

Субъекты РФ (области)	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Белгородская	-11,1	-14,8	11,1	-22,2	-40,7	-29,6
Брянская	-32,9	-38,4	-16,4	-56,2	-49,3	-13,7
Владимирская	-2,8	11,1	10,5	-38,6	-28,1	-7,4
Воронежская	-11,7	-21,9	22,6	-35,8	-48,9	-38
Ивановская	-10,3	33,2	17,1	8,6	33,7	9,6
Калужская	-23	-9,7	-17,7	-46,9	-32,7	-2,7
Костромская	-9,4	33,1	17,2	12,7	38,4	7,7
Курская	-21,1	-36,8	-20,5	-48,7	-59	-43,6
Липецкая	4,8	-15,9	12,7	-36,5	-41,3	-28,6
Московская	0	20	7,8	-31,1	-12,8	10
Орловская	-12,2	-26,8	4,9	-39	-51,2	-36,6
Рязанская	-4,7	5,4	10,9	-44,4	-31,9	-8,9
Смоленская	-25,5	17,5	-16,1	-41,6	-16,8	-5,1
Тамбовская	17,1	-12,2	19,5	-41,5	-31,7	-24,4
Тверская	-7,5	52,8	-14,7	-14,7	21,8	0,9
Тульская	-16	-15,1	-18,9	-45,3	-37,7	-8,5
Ярославская	-18,7	50	26,5	3,1	66,2	29,9

**Таблица 2**

Объем загрязненных сточных вод, сбрасываемых в природные поверхностные воды ЦФО в 2016–2021 гг., млн м<sup>3</sup> [8]

Субъекты РФ	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Белгородская область	74	71	70,5	68,8	65,9	60,6
Брянская область	58	55	53,8	50,8	49,7	51,4
Владимирская область	109	105	98,6	94,4	95	94,2
Воронежская область	122	119	118,8	119,2	118,2	117,2
Ивановская область	69	69	60,5	60,9	62	59,4
Калужская область	84	72	71,5	71,4	71,9	72,1
Костромская область	36	35	33,9	35,2	36,8	39,3
Курская область	12	13	11,6	11,1	10,9	7,8
Липецкая область	83	77	69,3	75,5	68,2	65,5
Московская область	1067	1036	956,2	870,4	853	901,1
Орловская область	52	52	56,6	46,5	45,6	43,7
Рязанская область	80	76	74,5	74,7	71,5	77,5
Смоленская область	59	59	54,4	46,2	44,7	43,2
Тамбовская область	41	45	44,7	43	40,8	42,8
Тверская область	78	78	73,6	68,3	65,9	72,9
Тульская область	161	160	156	153,5	152,2	135,1
Ярославская область	179	178	173,6	169	159,3	148,3

В 2019 г., несмотря на наиболее низкую водность (на 38,6% ниже нормы), число створов с водой, оцениваемой как «грязная», относительно остальных лет уменьшилось от 76,5–88,2 до 53% за счет увели-

чения числа створов удовлетворительного качества («загрязненная» вода) до 47%.

Снижение объема загрязненных сточных вод в 2019–2021 гг. по отношению к 2016–2017 гг. на 10–13% не оказало вли-

яния на изменение качества воды водных объектов, число створов с «грязной» водой в 2020–2021 гг. сохранилось на уровне 2016–2017 гг. (88,3–82,3%).

В течение всего многолетнего периода вода водных объектов *Воронежской области* в 87–92% створов оценивалась удовлетворительным 3-м классом качества («загрязненная»), Воронежского водохранилища – 4-м классом («грязная»).

Повышенная водность рек на территории области в 2018 г. по сравнению с низкой водностью в остальные годы не улучшила состояние водных объектов; отмечалось ухудшение качества воды р. Хопер ниже г. Борисоглебск до уровня «грязная».

Незначительное уменьшение объема сточных вод в 2021 г. по сравнению с начальным периодом на 2–5% не отразилось на изменении качества поверхностных вод.

В водных объектах *Ивановской области* преобладала «загрязненная» вода. Число створов, вода в которых оценивалась как «грязная», изменялось от 7,10 до 21,4% в большую часть многолетнего периода до 42,9% в 2019 г. и 35,7% в 2021 г. В 2016–2021 гг. Горьковское водохранилище в створах выше и ниже г. Кинешма стабильно характеризовалось «загрязненным». Низкое качество («грязная») воды отдельных рек обусловлено содержанием на критическом уровне: р. Постна в 2016–2021 гг. нитритного азота, в отдельные годы аммонийного азота, соединений меди и цинка; р. Шача в 2020–2021 гг. – аммонийного и нитритного азота. Наибольшие разовые значения концентраций выше указанных загрязняющих веществ были близки или превышали критерии ВЗ.

Водный режим поверхностных вод области был благоприятным за исключением 2016 г., когда водность была ниже средней многолетней на 10,3%, при этом число створов с водой, характеризующейся как «грязная», уменьшилось до 7,1%. В 2019–2021 гг. при повышенном стоке и снижении объема загрязненных сточных вод на 9–14% число створов неудовлетворительного качества возросло до 21,4–42,9%.

Реки *Калужской области* стабильно характеризовались удовлетворительным качеством воды («загрязненная»). В 2021 г. снизилось качество воды р. Протва в створе ниже г. Обнинск до уровня «грязная» в результате повышения содержания аммонийного и нитритного азота до 4 и 6 ПДК соответственно. В 2016–2021 гг. водный сток на территории области был пониженный. Несмотря на значительные колебания во-

дного стока при неизменном объеме сточных вод качество поверхностных вод (за исключением р. Протва) стабильно сохранялось на уровне «загрязненная».

Для водных объектов *Костромской области*, в том числе Горьковского водохранилища выше и ниже г. Кострома, характерна «загрязненная» вода. Качество воды отдельных рек периодически повышалось до уровня «слабо загрязненная», наиболее часто р. Нерехта и оз. Чухломское. Для рек области отмечено повышенное содержание в воде соединений железа, в среднем 2–6 ПДК, в р. Немда – 9–14 ПДК.

Пониженная водность в 2016 г. в последующие годы сменялась повышенной. В 2018 г. при самом минимальном объеме сточных вод и превышении среднемноголетней водности на 17% отмечалось увеличение числа створов, вода в которых оценивалась как «слабо загрязненная». В 2017 г. при наиболее высокой водности (на 33,1% выше нормы) и уменьшении объема сточных вод на 3% улучшение качества воды не наблюдалось.

Качество воды рек *Курской области* варьировало от «условно чистой» в отдельных створах и «слабо загрязненной» в 45–90% створов до «загрязненной» в 10–55% створов. Ухудшение качества воды отдельных рек до класса «грязная» обусловлено возрастанием загрязненности: р. Сейм в черте г. Курск в 2019–2020 гг. аммонийным и нитритным азотом; р. Псёл у г. Обоянь в 2018 г. аммонийным азотом и соединениями меди до критических значений, а также глубоким дефицитом растворенного в воде кислорода.

Водные ресурсы Курской области были существенно ниже средних многолетних величин. В 2019–2021 гг. при наиболее низкой водности вода в большинстве створов наблюдений (75,0–90,5%) сохраняла хорошее качество («слабо загрязненная» и «условно чистая»). Увеличение числа створов хорошего качества до 90,5% в 2021 г., возможно, связано со значительным уменьшением (на 39%) объема сточных вод в 2021 г. относительно 2020 г.

На территории *Липецкой области* распределение числа створов с водой удовлетворительного и хорошего качества менялось: в 2016–2018 гг. при более благоприятном водном режиме преобладали створы с «загрязненной» водой (55,6–94,4%), в 2019–2021 гг. при наиболее низкой водности – «слабо загрязненной» и «условно чистой» (55,6 и 83,2%).

При снижении объема сточных вод в 2021 г. по сравнению с 2019 г. на 12% число створов с водой удовлетворительного качества («загрязненная» вода) возросло от 16,7 до 38,9% в результате уменьшения створов с «условно чистой» и «слабо загрязненной» водой.

Высокая степень урбанизации территории *Московской области* в сочетании с малой водностью рек обуславливает большую антропогенную нагрузку на речную природную среду. Для большинства водных объектов области, в том числе р. Ока, Клязьма, Москва и их притоков, характерна вода неудовлетворительного качества («грязная» или «экстремально грязная»).

Вода водохранилищ на территории *Московской области*: Ивановского в районе г. Дубна, Можайского, Истринского, Рузского и Озернинского – соответствовала классу «загрязненная».

Вода р. Ока на территории области оценивалась как «грязная». Повышенные до критических значений концентрации аммонийного и нитритного азота, ЛОВ в воде р. Ока ниже г. Коломна связаны с воздействием как загрязненных сточных вод от предприятий Серпухова, Каширы и Коломны, так и самой р. Москва [9]. В 2021 г. в р. Ока ниже г. Коломна отмечено по одному случаю ВЗ воды нитритным азотом и ЛОВ.

Качество воды р. Москва по течению ухудшается от «загрязненной» до входа в г. Москва до «грязной» от створа ниже Бабьегородской плотины в черте города до устья. Колебание уровня загрязненности воды р. Клязьма ниже г. Щелково в течение многолетнего периода от «грязной» в 2016–2018 гг. до «экстремально грязной» в 2019 г. связано с неэффективной работой очистных сооружений ЗАО «Экоаэросталкер» г. Щелково [10]. Как «экстремально грязная» оценивалась вода таких рек, как Воймега в 2016–2021 гг., Зака в 2020–2021 гг., Пахра в 2019–2020 гг., Рожая в 2018–2021 гг.

Критическими загрязняющими веществами воды рек на территории области являлись ЛОВ, аммонийный и нитритный азот, реже – соединения цинка, железа, концентрации которых ежегодно превышали критерии ВЗ. В 2021 г. наибольшее число случаев ВЗ воды аммонийным и нитритным азотом, соединениями цинка, ЛОВ регистрировали в р. Москва (113) и р. Клязьма (35) [11].

Число створов, вода в которых оценивалась как «грязная» и «экстремально грязная», изменялось от максимума (85%) в 2017 г. с наибольшими для рассматриваемого пери-

ода величинами водности и объемом сбрасываемых сточных вод до минимума (60%) в 2018 г. при благоприятном водном режиме и снижении объема сточных вод на 10%.

В 2021 г. при благоприятной водности и незначительном возрастании объема сточных вод (на 6%) по сравнению с предыдущими двумя годами, характеризующимися низкой водностью и минимальным объемом сточных вод, число створов с «грязной» и «экстремально грязной» водой сохранялось стабильным – 78,3%.

Вода водных объектов *Орловской области* изменялась от «загрязненной» в большинстве створов (61,5–92,3%) до «слабо загрязненной» (7,7–38,5%). Наиболее часто улучшение качества воды до уровня «слабо загрязненная» отмечалось в р. Неручь и Нугрь. Вода р. Ока ниже г. Орел в течение многолетнего периода оценивалась как «загрязненная».

Водный сток на территории области в большую часть многолетнего периода был ниже нормы (на 12,2–51,2%), за исключением 2018 г. В 2018 г. при повышенном водном стоке (на 4,9% выше нормы) и максимальном объеме сточных вод по отношению к другим годам, число створов с водой, характеризующейся как «слабо загрязненная», снижалось до минимума (7,7%).

На территории *Рязанской области* вода рек по качеству варьировала в широком диапазоне от «слабо загрязненной» до «загрязненной» и «грязной»; в 2016 г. преобладала «грязная» (60% створов), в 2018 и 2020 гг. – «загрязненная» (в 53,3% и 58,3% створов).

Повышенная загрязненность воды р. Ока как выше, так и ниже г. Рязань нитритным азотом до критических значений обусловлена не только воздействием загрязненных сточных вод предприятий г. Рязань, но и транзитного потока речной воды с территории *Московской области*. Качество воды р. Ока улучшалось по течению реки от г. Рязань до г. Касимов от уровня «грязная» до уровня «загрязненная» в результате снижения содержания в воде нитритного азота.

Низкое качество воды р. Верда ниже г. Скопин («грязная») связано с возрастанием по сравнению с фоновым створом загрязненности воды аммонийным и нитритным азотом, ЛОВ до критического уровня. Неудовлетворительное качество воды р. Пра («грязная») обусловлено высоким содержанием в воде соединений железа и ЛОВ, достигающего уровня ВЗ, естественного происхождения (заболоченность долины реки).

Число створов, вода в которых оценивается как «грязная», в годы наиболее высокой водности (2017 и 2018 гг.) и наиболее низкой водности (2019 и 2020 гг.) совпадали (46,7 и 40% соответственно).

В Рязанской области сокращение объема сточных вод в течение многолетнего периода было незначительным – от 80,0 млн м<sup>3</sup> в 2016 г. до 77,5 млн м<sup>3</sup> в 2021 г., что не могло повлиять на изменение качества воды.

Вода речных бассейнов Днепра, Волги и Западной Двины, расположенных в границах *Смоленской области*, варьировала от «загрязненной» до «грязной» с преобладанием «загрязненной» (55–87,5% створов). Вода р. Западная Двина у г. Велиж стабильно оценивалась на уровне «загрязненная». Самой загрязненной на территории области является р. Вязьма в створе ниже г. Вязьма, состояние воды которой в 2016 г. снижалось от «грязной» до «экстремально грязной». Критическими показателями загрязненности воды р. Вязьма были ЛОВ и аммонийный азот; максимальные концентрации превышали критерии ВЗ: органических веществ в 2019–2021 гг., аммонийного азота – в 2016–2020 гг. Ежегодно в реке фиксировали случаи острого дефицита растворенного в воде кислорода (0,02–0,22 мг/л): в 2016 г. – 8, в последующие годы – от 70 до 135 [11].

В течение всего периода сохранялось неудовлетворительное качество воды («грязная») р. Вопец ниже г. Сафоново и р. Гжать ниже г. Гагарин, где загрязненность воды аммонийным азотом в 2018–2021 гг. достигала критического уровня.

Как в год наиболее низкой (2019 г.), так и повышенной водности (2017 г.) число створов с водой удовлетворительного качества («загрязненная») по сравнению с другими годами возрастало до 87,5 и 82,4% с одновременным уменьшением числа створов с «грязной» водой до 12,5 и 17,6% соответственно.

Снижение объема загрязненных сточных вод в 2020–2021 гг. на 24–27% по сравнению с 2016–2017 гг. не оказало влияния на улучшение качества воды водных объектов области.

Качество воды водотоков *Тамбовской области* (бассейн р. Цна и малых притоков р. Дон) изменялось в отдельные годы от уровня «условно чистая» в фоновых створах наблюдений р. Цна у г. Моршанск и р. Лесной Воронеж у г. Мичуринск до уровня «слабо загрязненная» и «загрязненная» в преобладающем числе створов. Как «грязная» оценивалась вода р. Цна в створах ниже сброса сточных вод г. Тамбов, где в 2019–2021 гг.

концентрации аммонийного и нитритного азота достигали критических значений.

На территории области в течение шести лет наблюдали повышение и снижение водности соответственно в 2016 и 2017 гг., рост в 2018 г. с последующей фазой снижения в 2019–2021 гг. При повышенном водном стоке в 2018 г. число створов с «грязной» водой оставалось практически стабильным.

Незначительные колебания в объеме загрязненных сточных вод, поступающих в водные объекты в период с 2016 по 2021 г., не могли существенно изменить качество воды водных объектов.

Преобладающее число створов наблюдений на водных объектах *Тверской области* характеризовалось водой удовлетворительного качества («загрязненная»).

В 2016–2021 гг. вода р. Волга у г. Ржев, Ивановского и Угличского водохранилищ на территории области стабильно характеризовалась удовлетворительным качеством («загрязненная») за исключением 2021 г., когда качество воды Угличского водохранилища в черте г. Кимры ухудшалось до «грязной». В течение многолетнего периода на уровне «грязная» оценивалась вода р. Остречина в черте г. Бежецк, где загрязненность воды реки органическими веществами (по БПК<sub>5</sub> и ХПК) в период с 2018 по 2019 г. повышалась до критической, максимальные концентрации превышали критерии ВЗ. Вода оз. Стерж характеризовалась как «загрязненная», оз. Селигер варьировала от «слабо загрязненной» в 2016–2017 гг. до «загрязненной» в последующие годы наблюдений.

Снижение водности ниже среднемноголетней в 2018–2019 гг. и интенсивное повышение в 2017 г., а также снижение объема сточных вод в 2020 г. на 15,5% и в 2021 г. на 6,5% относительно 2016 г. не повлияли на изменение уровня загрязненности воды водных объектов. Число створов с «загрязненной» водой в течение всего периода изменялось от 87,5 до 91–96%.

В течение 2016–2021 гг. вода водотоков и водоемов на территории *Тульской области* по качеству варьировала от уровня «загрязненная» (28,6–66,7% створов) до уровня «грязная» (33,3–71,4% створов).

Вода р. Ока у г. Алексин и г. Белев преимущественно оценивалась как «загрязненная», в 2018 и 2019 гг. на участке реки у г. Алексин ухудшалась до «грязной» за счет возрастания загрязненности воды ЛОВ до критического уровня.

К водным объектам, вода в которых в течение всего периода была неудовлетвори-

тельного качества, относились р. Мышега в черте г. Алексин, р. Упа ниже г. Тула, р. Дон ниже г. Донской и Шатское водохранилище выше и в черте г. Новомосковск. Критическими показателями загрязненности воды, ежегодно превышающими критерии ВЗ, были нитритный азот и ЛОВ; в р. Мышега добавлялись органические вещества (по ХПК), периодически – формальдегид.

В течение всего периода водные ресурсы области были ниже средних многолетних, наиболее низкая водность наблюдалась в 2019 и 2020 гг. Уменьшение числа створов с «грязной» водой в 2021 г. по отношению к прошлым годам от 52,4–71,4 до 33,3%, вероятно, может быть обусловлено более благоприятным водным режимом и снижением объема сточных вод на 17% относительно 2016–2017 гг. и на 5% относительно 2019–2020 гг.

В течение многолетнего периода поверхностные воды на территории *Ярославской области* в 70,4–88,9% створов оценивались как «загрязненные», в отдельных створах – как «грязные», вода оз. Плещеево – «условно чистая» – «слабо загрязненная».

Как «грязная» оценивалась вода водохранилищ: Рыбинского у п. Переборы в 2018 г., Угличского у г. Углич, Рыбинского ниже р. Мышкино, Горьковского ниже г. Ярославль в 2021 г.; р. Сить ниже д. Правдино – в большую часть многолетнего периода.

В 2016 г. в период пониженной водности число створов с «грязной» водой (11,1%) превысило число створов (7,4 и 3,7%) в годы максимально высокой водности (2017 и 2020 гг.). В то же время в 2021 г. при благоприятных по водности условиях и снижении объема загрязненных сточных вод число створов с «грязной» водой было самым высоким за весь рассматриваемый период – 22,2%.

### Выводы

Анализ оценок качества поверхностных вод ЦФО за 2016–2021 гг. выявил:

– Вода большинства водных объектов соответствует уровню «загрязненная»; на территории Курской области – «слабо загрязненная». Наиболее напряженная экологическая ситуация складывается на территории Московской, Владимирской, Тульской областей, где в более чем в 50% створов вода соответствует классу «грязных» вод. В течение 2016–2021 гг. «экстремально грязная» вода ежегодно встречалась в отдельных водных объектах Московской области.

– Наиболее часто случаи ВЗ воды аммонийным и нитритным азотом, ЛОВ ре-

гистрировали в водных объектах на территории Московской, реже – Тульской, Владимирской областей, кроме того, в водных объектах Московской области отмечали ВЗ соединениями цинка.

– При существующем уровне загрязненности поверхностных вод увеличение водного стока и снижение объема сброса загрязненных сточных на 5–25% зачастую не оказывали положительного влияния на качество воды водных объектов.

В связи с чрезмерным количеством сточных вод, диффузного загрязнения и снижения способности к самоочищению многих рек и водоемов мало надежд на разбавление загрязненных сточных вод чистой водой и на процессы самоочищения.

Назрела необходимость проведения мероприятий по снижению диффузного стока в водные объекты, проведению дноуглубительных работ по расчистке дна рек, реконструкции и повышению эффективности работы очистных сооружений, возврату очищенных сточных вод для вторичного использования.

### Список литературы

1. «Вода России» – Центральный федеральный округ [Электронный ресурс]. URL: [https://water-of.ru/Регионы\\_России/1767.федеральный\\_округ/](https://water-of.ru/Регионы_России/1767.федеральный_округ/) (дата обращения: 12.09.2022).
2. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения: коллективная монография под рук. В.И. Данилова-Данильяна. М.: РАН, 2020. 512 с.
3. Минигазимов Н.С., Батанов Б.Н., Мустафин Р.Ф., Сакаев Р.А. Влияние сбросов сточных вод на качество воды рек Республики Башкортостан // Вестник Академии наук РБ. 2019. Т. 31, № 2 (94). С. 35–45.
4. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г., Долгов С.В., Зайцева И.С., Кашутина Е.А. Оценка антропогенных воздействий на водные ресурсы России // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89, № 6. С. 603–614.
5. Тихонова И.О., Кручинина Н.Е., Десятков А.В. Экологический мониторинг водных объектов: учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2017. С. 43–44.
6. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоздат, 2003. 49 с.
7. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации». 2017–2022 гг. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye\\_doklady/](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye_doklady/) (дата обращения: 01.02.2023).
8. Российский статистический ежегодник. 2017–2022 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994/> (дата обращения: 01.02.2023).
9. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник 2021 / Под ред. Трофимчука М.М. Ростов-на-Дону, 2022. 620 с.
10. Лямперт Н.А., Ничипорова И.П., Лобченко Е.Е., Первышева О.А. Современное состояние и динамика качества воды р. Клязьма // Успехи современного естествознания. 2022. № 3. С. 104–110.
11. Реки и озера Российской Федерации (ресурсы, режим и качество воды) 2018, 2019, 2020, 2021 год: Справочное издание Водный Кадастр Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: [http://www.hydrology.ru/ru/izdaniya\\_ggi\\_New](http://www.hydrology.ru/ru/izdaniya_ggi_New) (дата обращения: 01.02.2023).

УДК 631.4:579.6

DOI 10.17513/use.38215

## ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ПОЧВЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОСОРБЕНТОВ

Соболева С.В., Есякова О.А., Воронин В.М.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, e-mail: swet.soboleva2011@yandex.ru*

Материалы содержат исследование по использованию биосорбентов «С-ВЕРАД» и «Biteoil» для очистки почвенного покрова от нефтепродуктов. В качестве анализируемых выступили образцы загрязненных нефтепродуктами почв, отобранные в районе нефтепровода «Куюмба – Тайшет». Биопрепараты вносились в концентрации 200 г на 1 м<sup>2</sup> при глубине загрязнения 20 см. Установлено, что наиболее эффективным деструктором нефти является биосорбент «Biteoil». В результате эксперимента выявлено, что биопрепарат «Biteoil» на основе консорциума микроорганизмов-нефтедеструкторов, нанесенный на торфоминеральный субстрат, позволяет устранить распространение загрязняющих веществ на смежных экосистемах, добиться полного удаления нефтяных пятен на грунте. Преимуществом биопрепарата «Biteoil» является высокая степень очистки почв от нефтепродуктов (до 90%) в условиях Восточной Сибири за короткий промежуток времени (до 60 суток). В полевых условиях использование биосорбента «Biteoil» и достижение значительного снижения концентрации нефтепродуктов в почве с 2 000 до 200 мг/кг в течение двух месяцев отражает его высокую эффективность. Это дает основание полагать, что использование данного биосорбента может быть полезным и представлять интерес для дальнейших исследований и практического внедрения в области очистки загрязненной почвы.

**Ключевые слова:** нефтепродукты, биосорбент, почва, загрязнение, биологические методы очистки

## A PROMISING METHOD OF SOIL PURIFICATION FROM PETROLEUM PRODUCTS USING BIOSORBENTS

Soboleva S.V., Esyakova O.A., Voronin V.M.

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk,  
e-mail: swet.soboleva2011@yandex.ru*

The materials contain a study on the use of biosorbents “S-VERAD” and “Biteoil” for cleaning soil from petroleum products. Samples of soil contaminated with petroleum products taken in the area of the Kuyumba-Taishet oil pipeline were analyzed. Biologics were applied at a concentration of 200 g per 1 square meter with a contamination depth of 20 cm. It has been established that the most effective oil destructor is the biosorbent “Biteoil”. As a result of the experiment, it was revealed that the biological product “Biteoil” based on a consortium of microorganisms-oil destructors, applied to a peat mineral substrate, allows to prevent the spread of pollutants to adjacent landscapes, to eliminate oil spills on the ground. The advantage of the Biteoil biological product is a high degree of soil purification from petroleum products (up to 90%) in Eastern Siberia in a short period of time (up to 60 days). In the field, the use of Biteoil biosorbent and the achievement of a significant reduction in the concentration of petroleum products in the soil from 2,000 to 200 mg/kg within two months reflects its high efficiency. This gives reason to believe that the use of this biosorbent may be useful and of interest for further research and practical implementation in the field of cleaning contaminated soil.

**Keywords:** petroleum products, biosorbent, soil, pollution, biological purification methods

На сегодняшний день остается актуальной проблема загрязнения почвенного покрова нефтесодержащими веществами, а также продуктами нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий. Нефтегазовая отрасль остается одной из областей деятельности с повышенной аварийностью.

Существует несколько способов очистки почвенного покрова от нефтепродуктов (НП): механический, физико-химический и биологический. Первый включает в себя удаление веществ нефтяных загрязнений с помощью растворителя или обработкой почвы электронагревом (витрификация). Физический метод позволяет удалять ионы

загрязнителя с помощью электрического тока (электромелиорация). Химическим воздействием на загрязнитель возможно подействовать посредством окислителя, а биологическим – благодаря использованию достижений биотехнологии [1].

Для объективной оценки состояния почв необходим систематический мониторинг на территории потенциальной опасности их загрязнения, причем в перечень пробных площадей должны быть включены природные аналоги или ландшафты с минимальной степенью изменчивости (фоновые территории) [2]. Сложностью получения репрезентативных данных мониторинга яв-

ляется то, что точное определение содержания химических элементов в почвах может быть сложным и трудоемким процессом. Это связано с необходимостью полного разложения алюмосиликатов, которые удерживают значительную часть этих элементов, особенно в незагрязненных почвах [3].

В случае загрязнения почв в результате разлива нефтепродуктов остро встает вопрос выбора метода ликвидации разлива и последующей рекультивации нарушенных ландшафтов. И одним из перспективных методов является сорбционный. Одной из ключевых характеристик сорбентов, которые привлекают внимание при очистке почв от НП, являются их природа происхождения и отсутствие токсичности. В контексте последующей рекультивации территории важно, чтобы выбранный сорбент не только очищал, но и улучшал структуру почвы. Кроме того, желательно, чтобы сорбент обладал свойствами биоразложения, что способствует естественному процессу разложения загрязнений. Также источником минерального питания для углеводород-разлагающих бактерий может служить выбранный сорбент. Все эти свойства делают сорбенты эффективными инструментами для рекультивации загрязненных территорий [4, 5].

Экологичности процесса ликвидации загрязнения нефтепродуктами возможно достичь посредством биоремедиации. Биоремедиация – это процесс, при котором целенаправленно усиливается активность специфической микрофлоры в почве, которая способна разлагать НП. Для этого можно добавить определенные микробные культуры в почву или использовать биосорбенты – сорбенты, на которых закреплены микроорганизмы, способные разрушать НП. Еще один подход к биоремедиации – это фиторекультивация, при которой используются растения для создания благоприятных условий для микроорганизмов, осуществляющих утилизацию НП и нефти. Оба подхода имеют свои преимущества и могут быть эффективными методами биоремедиации.

Продолжаются исследования, направленные на изучение возможности генетической модификации микроорганизмов для улучшения их способности разлагать нефтяные загрязнения. Это может включать изменение генов, ответственных за процессы разложения углеводов, чтобы усилить их активность или изменить их специфичность по отношению к определенным

типам нефтяных загрязнений. В целом исследования в этой области имеют большой потенциал для разработки более эффективных и экологически безопасных методов очистки нефтяных загрязнений. Однако для применения этих методов на практике необходимо учесть все возможные негативные последствия для окружающей среды и общества и провести достаточное количество исследований и испытаний, чтобы гарантировать их безопасность и эффективность.

Цель данного исследования заключается в изучении современных методов очистки почвенного покрова от НП с использованием биосорбентов «С-ВЕРАД» и «Biteoil».

### Материалы и методы исследования

Для проведения исследования отбор проб почвы осуществлялся на площади аварийного разлива НП в районе нефтепровода «Курумба – Тайшет», который проходит по территориям Эвенкийского, Богучанского и Нижнеингашского районов Красноярского края и Тайшетского района Иркутской области. Нефтепровод относится к объекту повышенной опасности, на котором возможны различные ситуации, связанные с попаданием НП в почву в результате аварий и техногенных катастроф [6].

В работе были использованы два сорбента для очистки почвенного покрова от НП «С-ВЕРАД» и «Biteoil». Характеристика сорбентов представлена в табл. 1.

По сравнению с сорбентами органического (мох, древесные опилки) и полимерного (синтепон, пенопласт) происхождения, угольный сорбент «С-ВЕРАД» имеет ряд преимуществ: химически стоек, сохраняя при этом высокую поглотительную способность; не горюч (температура плавления 1200 °С); пожаровзрывобезопасен. Однако необходимость специального оборудования для его использования и продолжительное время очистки ограничивают возможности его применения. Поэтому в работе использовали «С-ВЕРАД» для сравнения с препаратом «Biteoil» [7], состоящего из группы микроорганизмов, способных разлагать нефть, нанесенную на торфяной субстрат. Биосорбент «Biteoil» не требует удаления после применения, может применяться на обводненных и тяжелых почвах [8].

Микроорганизмы, содержащиеся в биопрепарате, обладают повышенной способностью к выживанию при экстремально низких температурах и эффективно разлагают нефть при низких температурах.

Таблица 1

## Характеристика сорбентов «С-БЕРАД» и «Biteoil»

Наименование показателей	«С-БЕРАД»	«Biteoil»
Состав	– минерал природный, модифицированный углеродной пленкой; – углерод; – биостимулятор роста аборигенной микрофлоры	– верховой торф и ассоциация штаммов, в соотношении компонентов, мас. %: гидрофобный верховой торф – 90%; биоэмульсия – 10%
Внешний вид	Серебристо-желтые гранулы неправильной формы	Торф с фрагментами мха, от серого до темно-коричневого цвета
Фракционный состав, мм	0,5–2	0,5–3,0
Насыпная плотность, не менее кг/м <sup>3</sup>	90–100	150–450
Нефтеемкость, не менее кг/кг	9	12
Скорость биодegradации, сут. не менее	120	60
Массовая доля влаги, не более %	6	30
Горючесть	Группа негорючие	Группа негорючие
Химическое взаимодействие	Химически инертен при контакте с кислотами, щелочами, нефтепродуктами	Химически инертен при контакте с кислотами, щелочами, нефтепродуктами
Поглотительная способность по нефти с вязкостью 50 °	Не менее 100 %	Не менее 350 %
Время образования конгломерата, с	60	30
Биодегенерационная активность через 7 суток, не менее	5–15 %	31–44 %
Десорбция	Отсутствует	Отсутствует

Одним из ключевых аспектов при приготовлении биосорбента является выбор метода нанесения биоэмульсии, содержащей ассоциацию штаммов *Rhodococcus erythropolis* AC-1260, AC-1660 на гидрофобный верховой торф в качестве сорбент-носителя. При этом необходимо сохранить свойства, определяющие эффективность готового продукта. В состав используемой среды включены компоненты, присутствующие в биоэмульсии, а также микроэлементы (железо и кальций), которые обычно содержатся в водной и почвенных средах. Нанесение биоэмульсии на сорбент осуществляется методом аэрозольным. Предлагаемый рецепт биоэмульсии обеспечивает защиту нефтедеструкторов-микроорганизмов при их диспергировании и нахождении в аэрозольной форме, а также их закреплении на поверхности сорбента [7].

Пробы почв отбирались по слоям с глубины 0–5 и 5–20 см с таким расчетом, чтобы каждая представляла собой часть, типичную для генетических горизонтов или слоев данного типа почвы. Отбор проб и пробоподготовка проведены согласно [9]. лабора-

торные испытания проводились с соблюдением требований государственных стандартов на сертифицированном оборудовании и с применением методик, получивших соответствующую аккредитацию. В процессе исследований было учтено воздействие специфических и неспецифических углеводородных соединений, которые присутствуют в почвенном гумусе. Для определения количества и идентификации загрязнения почв НП использовали [10].

Результат определения содержания НП в почве  $X_{изм}$ , мг/кг, рассчитывали по формуле

$$X_{изм} = \frac{C_{изм} \times V \times V_2 \times V_{элюат}}{M \times V_2 \times V_{ал}}, \quad (1)$$

где  $C_{изм}$  – показания прибора, мг/дм<sup>3</sup>;

$M$  – масса навески образца для анализа, кг;

$V$  – суммарный объем экстракта, дм<sup>3</sup>;

$V_1$  – объем экстракта, взятый для разбавления, дм<sup>3</sup>;

$V_2$  – объем экстракта, полученный после разбавления, дм<sup>3</sup>;

$V_{ал}$  – объем аликвоты экстракта, введенного в хроматографическую колонку, дм<sup>3</sup>;



$V_{\text{элюат}}$  – объем элюата, полученного после пропускания экстракта через колонку,  $\text{дм}^3$ .

После установления исходной концентрации НП в исследуемых загрязненных почвах, проводили испытания на них биосорбента. В колбы на  $200,0 \text{ см}^3$  добавляли по 1000 мг почвенных образцов. После чего засеивались клетками штамма до концентрации  $1-10^9 \text{ кл./см}^3$ . Контрольной выступала среда без добавления микроорганизмов для определения общих потерь. Эксперимент

проводился в трех повторностях при комнатной температуре в течение недели.

Биодеградационную активность (БА), %, в отношении НП рассчитывали по формуле

$$BA = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \%, \quad (2)$$

где БА – биодеградационная активность, %;  
 $m_1$  – масса нефтепродуктов в пробе, мг;  
 $m_2$  – масса нефтепродуктов в биопробе после 7 дней, мг.

Таблица 2

План эксперимента

Номер пробы	Место отбора пробы	Используемый сорбент
1	Почва + нефть	«Biteoil»
2	Почва + нефть	«Biteoil»
3	Почва + нефть	«Biteoil»
4	Почва + нефть	«С-ВЕРАД»
5	Почва + нефть	«С-ВЕРАД»
6	Почва + нефть	«С-ВЕРАД»
7	ГНПС* «Куюмба» площадка временного размещения отходов нефтешламов, фоновая точка	–
8	ГНПС «Куюмба» площадка временного размещения отходов нефтешламов, т. 1	«Biteoil»
9	ГНПС «Куюмба» площадка временного размещения отходов нефтешламов, т. 2	«Biteoil»
10	ГНПС «Куюмба» площадка временного размещения отходов нефтешламов, т. 3	«С-ВЕРАД»
11	ГНПС «Куюмба» площадка временного размещения отходов нефтешламов, т. 4	«С-ВЕРАД»
12	ГНПС «Куюмба» камера СОД**, фоновая точка	–
13	ГНПС «Куюмба» камера СОД, т. 5	«Biteoil»
14	ГНПС «Куюмба» камера СОД, т. 6	«С-ВЕРАД»
15	ГНПС «Куюмба» площадка ремонта, фоновая точка	–
16	ГНПС «Куюмба» площадка ремонта, т. 7	«Biteoil»
17	ГНПС «Куюмба» площадка ремонта, т. 8	«С-ВЕРАД»
18	НПС-2***, камера СОД, фоновая точка	–
19	НПС-2, камера СОД т. 9	«Biteoil»
20	НПС-2, камера СОД т. 10	«С-ВЕРАД»
21	НПС-3, камера СОД, фоновая точка	–
22	НПС-3, камера СОД т. 11	«Biteoil»
23	НПС-3, камера СОД т. 12	«С-ВЕРАД»
24	НПС-4, камера СОД, фоновая точка	–
25	НПС-4, камера СОД т. 13	«Biteoil»
26	НПС-4, камера СОД т. 14	«С-ВЕРАД»
27	ГНПС «Тайшет», камера СОД, фоновая точка	–
28	ГНПС «Тайшет», камера СОД т. 15	«Biteoil»
29	ГНПС «Тайшет», камера СОД т. 16	«С-ВЕРАД»

Примечание: \*ГНПС – головная нефтеперекачивающая станция; \*\*СОД – система очистки и диагностики трубопровода; \*\*\*НПС – нефтеперекачивающая станция.

Пробы 1–6 брали на площадке аварийного разлива НП размером 5x5 м ремонтного участка, где произошел разлив нефтепродуктов. Место отбора исследуемых проб и используемых сорбентов представлено в табл. 2.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты эксперимента с использованием сорбентов «Biteoil» и «С-ВЕРАД» в лабораторных условиях представлены в табл. 3.

Проведенное лабораторное испытание подтвердило большую эффективность применения сорбента «Biteoil» для удаления неф-

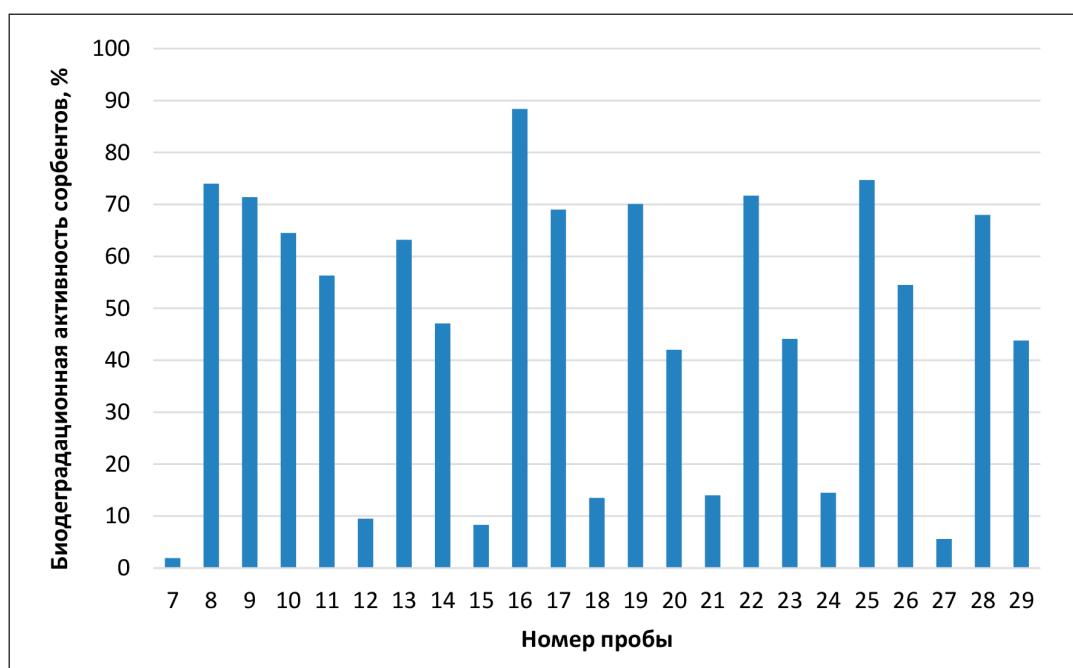
тяных загрязнений с почвенного покрова. Установлено, что оба препарата эффективно справляются с задачей очистки почв, однако сорбент «Biteoil» демонстрирует биодеградационную эффективность на 27,1% большую по сравнению с «С-ВЕРАД».

Для исследования эффективности сорбентов в полевых условиях были отобраны пробы с 22 точек. Препарат вносили в концентрации 200 г на 1 м<sup>2</sup>, при глубине загрязнения 20 см на 60 суток. На рисунке представлены результаты исследований биодеградационной активности сорбентов на контрольных и фоновых точках в полевых условиях.

Таблица 3

Эффективность использования сорбентов «Biteoil» и «С-ВЕРАД» в лабораторных условиях

Номер пробы	Проба	Содержание нефти, мг/кг		Биодеградационная активность, %
		до внесения биосорбента	через 7 суток после внесения сорбента	
1	Почва + «Biteoil»	22397±5599	2545±636	88,6
2	Почва + «Biteoil»	47412±11853	5089±1272	89,3
3	Почва + «Biteoil»	23045±5761	6993±1748	69,7
Среднее значение		30951±7737	4875±1218	82,5
4	Почва + «С-ВЕРАД»	26412±6603	11255±2814	57,4
5	Почва + «С-ВЕРАД»	30854±7714	16558±4140	46,3
6	Почва + «С-ВЕРАД»	39565±9891	14851±3713	62,5
Среднее значение		32274±8069	14221±3555	55,4



Биодеградационная активность сорбентов в полевых условиях

Благодаря высокой удельной поверхности и повышенной твердости, а также свободной сыпучести субстрата-носителя «Viteoil» возможно структурирование очищенной почвы и повышение доступа кислорода для микрофлоры почвы, что способствует формированию центров активной деструкции НП в почве. Минеральные составляющие субстрата-носителя и самого субстрата для бактерий предоставляют необходимые макро- и микроэлементы, которые активизируют нефтеокисляющие и азотфиксирующие микроорганизмы в мерзлотной почве. Это способствует увеличению жизнеспособности полезной микрофлоры в условиях короткого вегетационного периода и сокращению времени восстановления нарушенной экологической системы. Таким образом, потребность в минеральных удобрениях при биоремедиации нефтезагрязненных почв на Крайнем Севере значительно сокращается.

По результатам исследований в разных местах отбора проб почв видно, что характер сорбционной активности препаратов отличается. Причиной этому могут быть:

- уменьшение толщины пленки НП (уменьшается нефтеемкость сорбентов в связи с уменьшением площади поверхности взаимодействия с нефтью);

- повышение вязкости нефти при понижении температуры препятствует сорбции.

В полевых условиях при стабильных положительных температурах использование в течение двух месяцев биосорбента «Viteoil» позволило уменьшить уровень загрязнения НП в почве с 2000 до 200 мг/кг.

### Выводы

1. Изучили биологические методы очистки почвы от НП с использованием сорбентов «С-ВЕРАД» и «Viteoil».

2. Выяснили, что биопрепарат «Viteoil» на основе консорциума микроорганизмов-нефтедеструкторов, нанесенный на торфо-минеральный субстрат, позволяет избежать распространения загрязняющих веществ на природных территориях, вплоть до локализации загрязнения.

3. Установили преимущество биопрепарата «Viteoil» по сравнению с сорбентом минерального происхождения по степени

очистки почв от НП (до 87–88%) в районе нефтепровода «Куюмба – Тайшет» за короткий промежуток времени (60 суток).

### Список литературы

1. Тучкова О.А., Гасилов В.С. Разливы нефти и нефтепродуктов. Часть 1. Основные положения разработки Планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов // Вестник Казанского технологического университета. 2016. № 21. С. 69–72.

2. Апкин Р.Н., Минакова Е.А. Экологический мониторинг: учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. Казань: КГЭУ, 2015. 127 с.

3. Правительство Российской Федерации. Постановление об утверждении Правил организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации и территориального моря Российской Федерации: утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации 31 декабря 2020 года № 2451.

4. Половков С.А., Николаева А.В., Дегтярева С.С., Дунаева А.С., Радченко А.Н., Шестаков Р.Ю. Технология ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на воде и почве с использованием биосорбента и биопрепарата, разработанных ООО «НИИ Транснефть» / Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа. М., 2017. С. 72–74.

5. Мухин В.М. Пути решения экологических проблем в нефтяном комплексе // Экспозиция Нефть Газ. 2017. № 1 (54). С. 65–67.

6. ОР-13.020.30-КТН-138-14 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Производственный эколого-аналитический контроль за состоянием компонентов окружающей среды. Порядок планирования и организации работ. 2014. 79 с.

7. Рожкова С.А., Черняева И.А., Солтон О.Л., Николаева А.В., Кардакова Т.С., Козьминных А.Н., Комоско Г.В., Кузнецов С.М. Биосорбент для очистки почвы и воды от нефти и нефтепродуктов // Патент РФ № 2015142416. 2017. Бюл. № 10. Заявл. 06.10.2015; опубл. 21.08.2017. 2 с.

8. Макарян Н.В., Соболева С.В., Воронин В.М. Исследование загрязнения почвенного покрова при добыче и транспортировке товарной нефти / Решетневские чтения. Материалы XXVI международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. Ч. 1. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2022. С. 778–780.

9. ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа М.: Стандартинформ, 2018. 9 с.

10. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органоминеральных, органических почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. Издание официальное: утвержден и введен Государственным комитетом Российской Федерации по охране окружающей среды от 10 ноября 1998 г. № 711-ств введен впервые Тюменским государственным университетом. 2021. 18 с.

УДК 550.4:631.41:631.453  
DOI 10.17513/use.38216

## ПРОБЛЕМА МЕТАЛЛИЗАЦИИ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА

<sup>1</sup>Харина Г.В., <sup>2</sup>Алешина Л.В., <sup>3</sup>Шалыгина Ж.В.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»,  
Екатеринбург, e-mail: gvkharina32@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»,  
Екатеринбург, e-mail: alv@usue.ru;

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: z.v.shalygina@urfu.ru

Работа посвящена проблеме аккумуляции тяжелых металлов в почвах промышленных центров. Актуальность работы обоснована необходимостью регулярного мониторинга и оценки состояния окружающей среды в связи с ухудшающейся экологической ситуацией в Екатеринбурге. Цель работы заключалась в оценке загрязнения почвенного покрова города Екатеринбурга тяжелыми металлами. Объектом исследования являлись пробы почв, отобранные в разных районах Екатеринбурга. Описана подготовка проб к анализу; указаны методы исследования: потенциометрический (для определения характера среды) и инверсионно-вольтамперометрический (для определения тяжелых металлов – свинца, никеля, меди, цинка и кадмия). Приведена карта города с указанием участков отбора почвенных проб. Отмечено, что в Екатеринбурге преобладают дерново-подзолистые почвы, по гранулометрическому составу – среднесуглинистые. Указаны источники загрязнения почв, приведен механизм аккумуляции тяжелых металлов в почвах. Рассчитаны коэффициенты концентрации тяжелых металлов и значения интегрального показателя загрязнения Zc; составлены геохимические специализации почв по коэффициентам концентрации тяжелых металлов. Обнаружено, что высоким уровнем загрязнения характеризуются почвы четырех участков отбора проб; средним уровнем – почвы восьми участков. Установлено, что в почвах Екатеринбурга формируются техногенные геохимические ассоциации состава  $Cd_{3-20}Pb_{3-18}Zn_{2-9}Ni_{1-9}Cu_{1-7}$ . Подчеркнуто, что в результате техногенного воздействия уровень металлизации почв в Екатеринбурге достаточно высок.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, аккумуляция, техногенное загрязнение, интегральный показатель загрязнения

## THE PROBLEM OF METALLIZATION OF SOILS OF URBANIZED TERRITORIES ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF YEKATERINBURG

<sup>1</sup>Kharina G.V., <sup>2</sup>Aleshina L.V., <sup>3</sup>Shalygina Zh.V.

<sup>1</sup>Russian State Vocational Pedagogical University, Yekaterinburg,  
e-mail: gvkharina32@yandex.ru;

<sup>2</sup>Ural State University of Economics, Yekaterinburg, e-mail: alv@usue.ru;

<sup>3</sup>Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin,  
Yekaterinburg, e-mail: z.v.shalygina@urfu.ru

The work is devoted to the problem of accumulation of heavy metals in the soils of industrial centers. The relevance of the work is justified by the need for regular monitoring and assessment of the state of the environment in connection with the deteriorating environmental situation in Yekaterinburg. The purpose of the work was to assess the contamination of the soil cover of the city of Yekaterinburg with heavy metals. The object of the study was soil samples taken in different districts of Yekaterinburg. The preparation of samples for analysis is described; The research methods are indicated: potentiometric (to determine the nature of the medium) and inversion-voltammetric (to determine heavy metals – lead, nickel, copper, zinc and cadmium). A map of the city with an indication of soil sampling sites is provided. It is noted that sod-podzolic soils predominate in Yekaterinburg, medium loamy in terms of granulometric composition. The sources of soil pollution are indicated, and the mechanism of accumulation of heavy metals in soils is given. The concentration coefficients of heavy metals and the values of the integral pollution index Zc are calculated; geochemical specializations of soils according to the concentration coefficients of heavy metals have been compiled. It was found that the soils of four sampling sites are characterized by a high level of pollution; the soils of eight sites are characterized by an average level. It has been established that technogenic geochemical associations of the composition  $Cd_{3-20}Pb_{3-18}Zn_{2-9}Ni_{1-9}Cu_{1-7}$  are formed in the soils of Yekaterinburg. It is emphasized that as a result of man-made impact, the level of metallization of soils in Yekaterinburg is quite high.

**Keywords:** heavy metals, accumulation, man-made pollution, integral pollution indicator

Почва выполняет множество разнообразных функций в глобальной экосистеме: обеспечение устойчивости функционирования биогеоценозов; связывание поллютантов и перевод их в безопасное для живых организмов состояние; регуляция химического состава природных вод и др. В почве происходят процессы гумусообразования и биогенной аккумуляции химических элементов. Вместе с тем почва является одним из природных объектов, испытывающих наиболее сильное антропогенное воздействие.

Техногенное загрязнение биосферы особенно остро ощущается в крупных промышленных центрах, к числу которых относится Екатеринбург. Критическая экологическая ситуация в столице Урала обусловлена чрезмерным поступлением в окружающую среду экотоксикантов из различных антропогенных источников. Почва, являясь частью биосферы, тесно связана с другими ее компонентами – атмосферой и гидросферой – потоками вещества, энергии и информации. В этой связи все загрязнители так или иначе неизменно попадают в почву. Кроме того, почвы с избыточным содержанием поллютантов сами являются источником вторичного загрязнения поверхностных и подземных вод, приземного слоя воздуха.

Почвы городских ландшафтов представляют собой сложные природно-антропогенные биогеохимические системы. Например, дерново-подзолистые почвы в пределах города в результате антропогенной деятельности постепенно трансформируются в новое состояние – урбанозем, в котором зональные почвы смешаны со строительным мусором, кирпичной крошкой, стеклом и т.д. [1, с. 89]. Техногенные загрязнители, попадая в почву, накапливаются в ней, меняют химический состав и природные миграционные потоки. Из наиболее опасных поллютантов выделяют тяжелые металлы с низкими значениями кларков в земной коре (Pb, Cd, Hg и др.), образующих контрастные по сравнению с фоном геохимические аномалии и обладающие сильным негативным воздействием на живые организмы, в том числе на человека [2–4].

Машиностроительные и металлургические предприятия, теплоэнергетика, транспорт являются основными поставщиками тяжелых металлов в окружающую среду и, следовательно, источниками образования техногенных геохимических

аномалий в городских почвах. Согласно [5, с. 14] многие города Свердловской области характеризуются высоким уровнем загрязнения тяжелыми металлами и образованием полиэлементных геохимических аномалий Cd – Cu – Pb – Zn. Очевидно, почва является достаточно емким акцептором для тяжелых металлов, которые быстро накапливаются в ней и очень медленно удаляются, что приводит к постепенной металлизации почв урбанизированных территорий [6, с. 76].

Цель данной работы заключалась в определении степени загрязнения почвенного покрова города Екатеринбурга тяжелыми металлами.

Актуальность работы обоснована необходимостью регулярного мониторинга и оценкой состояния окружающей среды в связи с ухудшающейся экологической ситуацией в Екатеринбурге.

### Материалы и методы исследования

Для проведения анализа были отобраны пробы почв в разных районах города Екатеринбурга (табл. 1) в соответствии с требованиями к отбору проб по ГОСТ 17.4.3.01-83 [7].

**Таблица 1**

Места отбора проб почв в Екатеринбурге

№ пробы	Место отбора пробы
1	Кировский р-н, ул. Блюхера
2	Кировский р-н, ул. Сыромолотова
3	Орджоникидзевский р-н, ул. Машиностроителей
4	Орджоникидзевский р-н, ул. Фронтальных бригад
5	Орджоникидзевский р-н, ул. Шефская
6	Ленинский р-н, ул. Московская
7	Академический р-н, ул. Академика Сахарова
8	Академический р-н, ул. Вильгельма де Геннина
9	Верх-Исетский р-н, ул. Токарей
10	Октябрьский р-н, Кольцовский тракт
11	Октябрьский р-н, ул. Куйбышева
12	Чкаловский р-н, ул. Лучистая
13	Чкаловский р-н, ул 8-е Марта
14	Чкаловский р-н, ул. Патриса Лумумбы
15	Верх-Исетский р-н, ул. Металлургов
16	Железнодорожный р-н, ул. Челюскинцев

Подготовка проб к определению валового содержания тяжелых металлов состояла из следующих этапов: 1) высушивание проб в сушильном шкафу при температуре не выше 4°C; 2) растирание проб почв в ступке и просеивание их через сито; 3) получение кислых вытяжек в результате выдержки почвенных образцов в растворе азотной кислоты в течение суток с последующей их фильтрацией.

Значения pH измеряли потенциометрическим методом с помощью иономера РХ 150.

Валовое содержание тяжелых металлов (меди, свинца, кадмия, цинка, никеля) определяли методом инверсионной вольтамперометрии (ИВА) с использованием инверсионного вольтамперометрического анализатора по ТУ 4215-001-05828695-95

(НПВП «ИВА», г. Екатеринбург). Аналитическим сигналом при этом является ток растворения продукта предварительного электролиза с электрода (при определении меди, свинца, кадмия, цинка) или катодного восстановления комплексного соединения на электроде (при определении никеля).

### Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 представлены точки отбора почвенных проб в разных районах Екатеринбурга. При отборе проб авторы придерживались принципа максимально возможного охвата территории города; из рис. 1 видно, что места отбора проб находятся как вблизи промышленных предприятий, так и на некотором удалении от них.

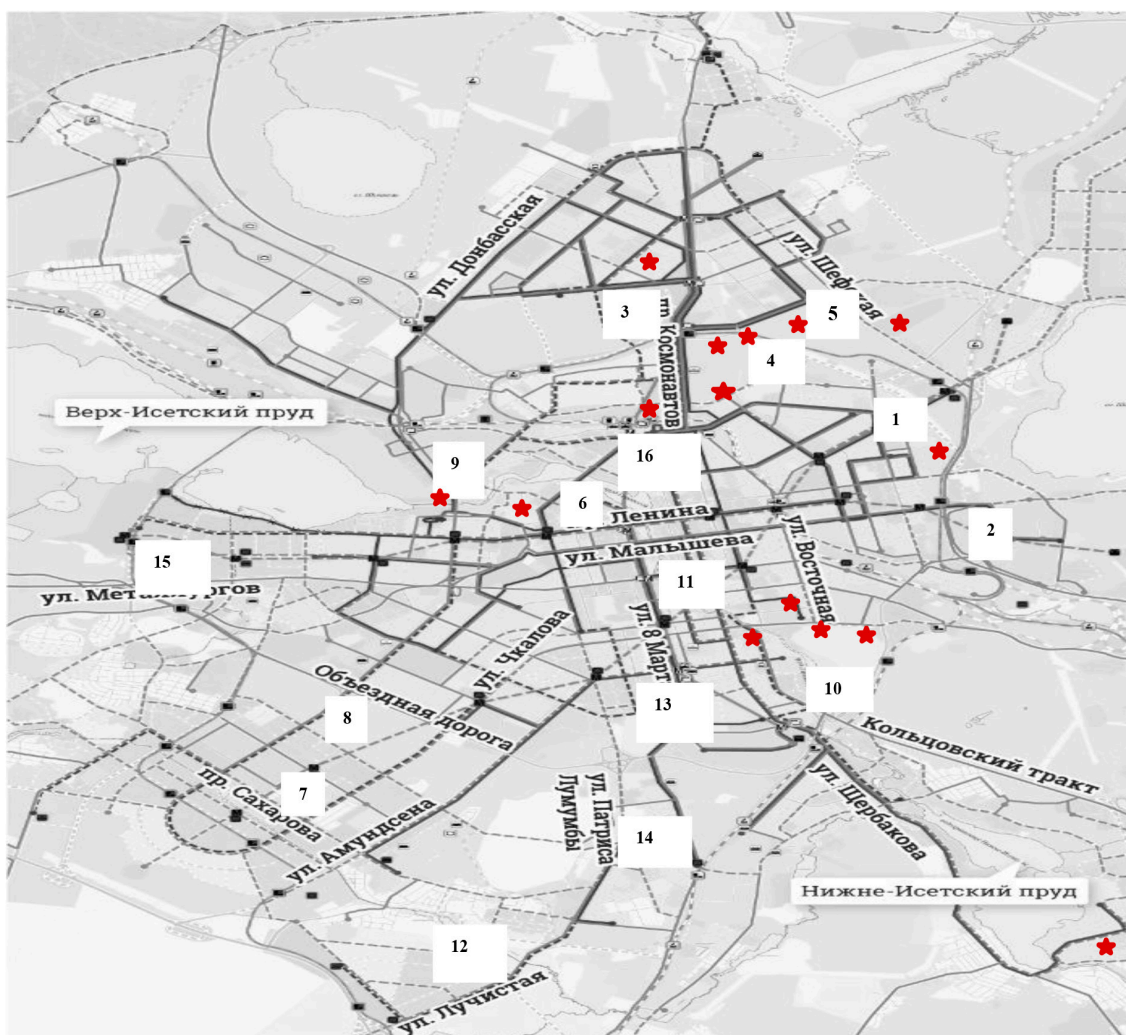


Рис. 1. Участки отбора почвенных проб в городе Екатеринбурге  
 ★ – примерное расположение некоторых промышленных предприятий

Таблица 2

Концентрации валовых форм тяжелых металлов в пробах почв Екатеринбурга

Проба	рН	Содержание валовых форм тяжелых металлов, мг/кг									
		Pb <sup>2+</sup>	ОДК	Ni <sup>2+</sup>	ОДК	Zn <sup>2+</sup>	ОДК	Cu <sup>2+</sup>	ОДК	Cd <sup>2+</sup>	ОДК
1	5,9	21,5		<b>162,2</b>		121,8		24,3		1,1	
2	6,8	34,5		<b>274,0</b>		126,2		21,6		0,9	
3	6,1	<b>182,3</b>		<b>103,0</b>		134,0		<b>171,0</b>		1,9	
4	6,4	175,0		268,0		<b>438,0</b>		106,0		2,0	
5	5,9	<b>155,2</b>		<b>259,0</b>		<b>271,0</b>		122,0		1,9	
6	6,7	98,2		<b>136,0</b>		<b>240,0</b>		82,0		0,7	
7	6,8	31,6		57,2		123,0		64,1		0,7	
8	6,8	55,2	130,0	67,0	80,0	211,0	220,0	122,2	132,0	1,0	2,0
9	6,5	167,9		103,0		<b>264,0</b>		<b>167,0</b>		1,9	
10	6,2	89,6		<b>172,8</b>		<b>267,0</b>		38,2		0,3	
11	6,8	14,4		25,0		105,0		31,3		0,3	
12	6,7	44,5		64,2		119,0		101,0		0,4	
13	6,1	88,0		74,1		112,3		123,0		0,6	
14	6,7	32,5		89,1		137,2		52,2		0,6	
15	6,0	96,0		44,5		89,5		117,0		0,5	
16	5,9	118,0		<b>90,7</b>		<b>234,0</b>		<b>136,0</b>		0,9	

Согласно почвенно-географическому районированию [8, с. 51] почвы Екатеринбурга и его окрестностей относятся к среднеуральской южно-таежной почвенной провинции, где преобладают почвы с кислой реакцией среды. Одной из особенностей этой провинции является повышенное содержание железа по сравнению с алюминием за счет специфики почвообразующих пород. В большей степени здесь распространены дерново-подзолистые почвы; по гранулометрическому составу – среднесуглинистые. Последнее особенно актуально, поскольку аккумуляция многих тяжелых металлов происходит в результате адсорбции их соединений глинистыми и суглинистыми отложениями, а также оксидами (гидроксидами) железа в составе почв.

Найденное содержание валовых форм тяжелых металлов приведено в табл. 2.

При оценке степени загрязнения почв авторы руководствовались значениями ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) тяжелых металлов с учетом характера среды и гранулометрического состава почв [9, с. 7]. Как следует из табл. 2, исследуемые почвы имеют слабокислую среду, и, как было сказано выше, в составе почв преобладают среднесуглинистые фракции.

Результаты, представленные в табл. 2, свидетельствуют о загрязнении проб № 1–6,

8–10 и 16 тяжелыми металлами (Pb, Ni, Zn, Cu) в разной степени.

Техногенное загрязнение почв в городах тяжелыми металлами происходит главным образом за счет их непосредственного попадания при работе различных промышленных предприятий и автотранспорта. Однако возможно поступление экотоксикантов из атмосферного воздуха (оседание продуктов сгорания топлива) или из загрязненных грунтовых вод. В крупных промышленных центрах атомтехногенный путь загрязнения почв доминирует, что подтверждается зависимостью содержания тяжелых металлов в почве от их концентрации в атмосферном воздухе [10, с. 204].

Почвы характеризуются большим разнообразием веществ минеральной и органической природы, которые связывают металлы, попадающие в почвенный покров, в новые прочные, чаще всего труднорастворимые, соединения (соли, гидроксиды, комплексы). Кроме того, фиксация тяжелых металлов в почве возможна и за счет процессов комплексообразования с гумусовыми кислотами, адсорбции глинистыми минералами, оксидами и гидроксидами железа, алюминия, марганца и т.д.

К основным источникам поступления свинца в почвы городских ландшафтов относятся предприятия металлургии, авто-

транспорт, отработанные аккумуляторы и т.д. Загрязнение почв свинцом может охватывать значительные по площади территории: даже на значительном расстоянии от источника загрязнения содержание растворимых форм свинца в почве может значительно превышать его допустимые нормы. Для свинца характерно закрепление в почве в результате образования солей гуминовых кислот – гуматов и адсорбции алюмосиликатами [11, с. 235]. Из рис. 2 видно, что наибольший вклад в загрязнение почв с участков № 3–5, 9 вносят находящиеся неподалеку от мест отбора проб промышленные предприятия (Уральский турбинный, Верх-Исетский металлургический, дизель-моторный заводы, теплоэлектростанция и др.).

Как следует из табл. 2, большая часть проб (№ 1–6, 9, 10, 16) загрязнена никелем, к источникам поступления которого можно отнести сжигание органического топлива, осадки сточных вод и выбросы металлообрабатывающих и металлургических предприятий. В почвах никель связывается с органическими соединениями, оксидами и гидроксидами железа и марганца в составе ультраосновных горных пород, содержащих тяжелые глины и суглинки [12, с. 76]. Участки отбора проб, загрязненных никелем, располагаются либо вблизи оживленных транспортных развязок (№ 2), либо рядом с промышленными предприятиями (№ 1, 3–6, 9, 10, 16) (рис. 2).

Антропогенное загрязнение почв цинком связано с использованием цинковых удобрений, работой горнодобывающих и металлургических заводов. Цинк в отличие от свинца аккумулируется в верхнем почвенном профиле в виде органоминеральных комплексов. Цинк наряду с кадмием и медью довольно активно адсорбируется глинистыми минералами и оксидами железа, переходя в неподвижное состояние. По загрязнению исследуемых почв цинк уступает никелю: превышение допустимого содержания цинка обнаружено в шести пробах – № 4–6, 9, 10, 16.

К основным источникам загрязнения почв медью можно отнести металлургические предприятия. Накопление меди в верхних слоях почвы происходит также в процессе сжигания топлива, в результате истирания шин и тормозных колодок автомобилей. В нейтральных и слабокислых почвах медь присутствует главным образом в подвижной форме в виде комплексных со-

единений с гуминовыми кислотами и в адсорбированном состоянии на поверхности оксидов марганца и железа. Как следует из табл. 2, повышенное содержание меди выявлено в пробах почв № 3, 9, 16.

Поступление кадмия в почву происходит при сжигании топлива, в процессе работы автотранспорта и предприятий металлургической и горнодобывающей промышленности и др. Пополняют запасы кадмия в почвах урбанизированных территорий и отработанные никелево-кадмиевые батареи. Кадмий в почвах может аккумулироваться как в виде малоустойчивых органических комплексов, так и виде труднорастворимых солей: сульфидов, фосфатов и др. В исследуемых почвенных пробах содержание кадмия не превышает его ОДК.

Таким образом, определяемые тяжелые металлы по их вкладу в техногенное загрязнение исследуемых почв можно расположить в ряд  $Ni > Zn > Pb > Cu > Cd$ , что хорошо согласуется с данными проведенных авторами ранее исследований [13, с. 178].

Для оценки степени техногенного загрязнения почв необходимо воспользоваться интегральным показателем загрязнения [14, с. 63]:

$$Z_C = \left( \sum_{i=1}^n K_{Ci} \right) - (n-1), \quad (1)$$

где  $K_{Ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го металла;  $n$  – число определяемых металлов;

$$K_{Ci} = C_i / C_{\phi i}, \quad (2)$$

где  $C_i$  – фактическое содержание металла в почве;  $C_{\phi i}$  – фоновое содержание металла.

С учетом коэффициентов токсичности тяжелых металлов [12, с. 9] расчетная формула интегрального показателя загрязнения приобретает следующий вид:

$$Z_{CT} = \left( \sum_{i=1}^n K_{Ci} \cdot K_{Ti} \right) - (n-1), \quad (3)$$

где  $K_{Ti}$  – коэффициент токсичности  $i$ -го металла.

Фоновые концентрации тяжелых металлов в почвах регионов [5, с. 140], используемые для сравнения различных геохимических систем и оценки техногенной трансформации ландшафтов, зачастую существенно отличаются от условных кларков этих элементов в земной коре [3, с. 2] (табл. 3).



Таблица 3

Условные кларки тяжелых металлов, их фоновые концентрации и коэффициенты токсичности

Металл	Условные кларки тяжелых металлов в континентальной земной коре, мг/кг	Фоновые концентрации тяжелых металлов в почве, мг/кг	Коэффициенты токсичности металлов, $K_T$
Pb	17	10	1,5
Ni	50	30	1,0
Zn	75	50	1,5
Cu	27	20	1,0
Cd	0,09	0,1	1,5

Таблица 4

Уровни загрязнения участков отбора почв

Участок отбора проб	Геохимическая ассоциация почв по коэффициентам концентрации тяжелых металлов $K_{Ci}$	Основные источники загрязнения	Zc
1	$Cd_{11} Ni_5 Zn_2 Pb_2 Cu_1$	Завод металлоконструкций	18
2	$Cd_9 Ni_9 Zn_3 Pb_3 Cu_1$	Автомобильная магистраль	21
3	$Cd_{19} Pb_{18} Cu_9 Zn_3 Ni_3$	Металлургический завод	48
4	$Cd_{20} Pb_{18} Zn_9 Ni_9 Cu_5$	Дизель-моторный, турбинный заводы, ТЭЦ	56
5	$Cd_{19} Pb_{16} Ni_9 Zn_5 Cu_6$	"_""_""_"	51
6	$Pb_{10} Cd_7 Zn_5 Ni_5 Cu_4$	Завод трансформаторных технологий	26
7	$Cd_7 Pb_3 Cu_3 Zn_{2,5} Ni_2$	Автомобильная магистраль	14
8	$Cd_{10} Cu_6 Pb_{5,5} Zn_4 Ni_2$	Автомобильная магистраль	24
9	$Cd_{19} Pb_{17} Cu_8 Zn_5 Ni_3$	Металлургический, завод	49
10	$Pb_9 Ni_6 Zn_5 Cd_3 Cu_2$	Инструментальный завод	21
11	$Cd_3 Zn_2 Cu_{1,6} Pb_{1,5} Ni_1$	–	5
12	$Cu_5 Pb_{4,5} Cd_4 Zn_{2,5} Ni_2$	–	14
13	$Pb_9 Cd_6 Cu_6 Ni_{2,5} Zn_2$	Автомобильная магистраль	22
14	$Cd_6 Pb_3 Ni_3 Zn_{2,5} Cu_{2,5}$	–	14
15	$Pb_{10} Cu_6 Cd_5 Zn_2 Ni_{1,5}$	Автомобильная магистраль	20
16	$Pb_{12} Cd_9 Cu_7 Zn_5 Ni_3$	Электромеханический завод	31

По величине Zc можно выделить следующие градации загрязнения почв:

- $Zc > 128$  – чрезвычайно опасная экологическая ситуация при максимальном уровне загрязнения;
- $64 < Zc < 128$  – очень высокий уровень загрязнения (очень опасная экологическая ситуация);
- $32 < Zc < 64$  – высокий уровень загрязнения (экологическая ситуация опасная);
- $16 < Zc < 32$  – средний уровень загрязнения, умеренно опасная экологическая ситуация;
- $Zc < 16$  – низкий уровень загрязнения, неопасная экологическая ситуация [5, с. 17].

Результаты, представленные в табл. 4, свидетельствуют о высоком уровне загрязнения почв № 3, 4, 5, 9. Среди загрязнителей доминирует кадмий, несмотря на то, что его содержание не превышает значения ОДК (табл. 2). Возможно это связано со сложностями определения региональных фоновых концентраций тяжелых металлов.

Как видно из рис. 2, загрязнение ниже среднего уровня отмечается только для четырех участков отбора проб: № 7, 11, 12, 14. Однако с учетом коэффициентов токсичности металлов значения суммарного показателя загрязнения резко возрастают, и низкий уровень загрязнения при этом свойствен лишь одной пробе почвы – № 11.

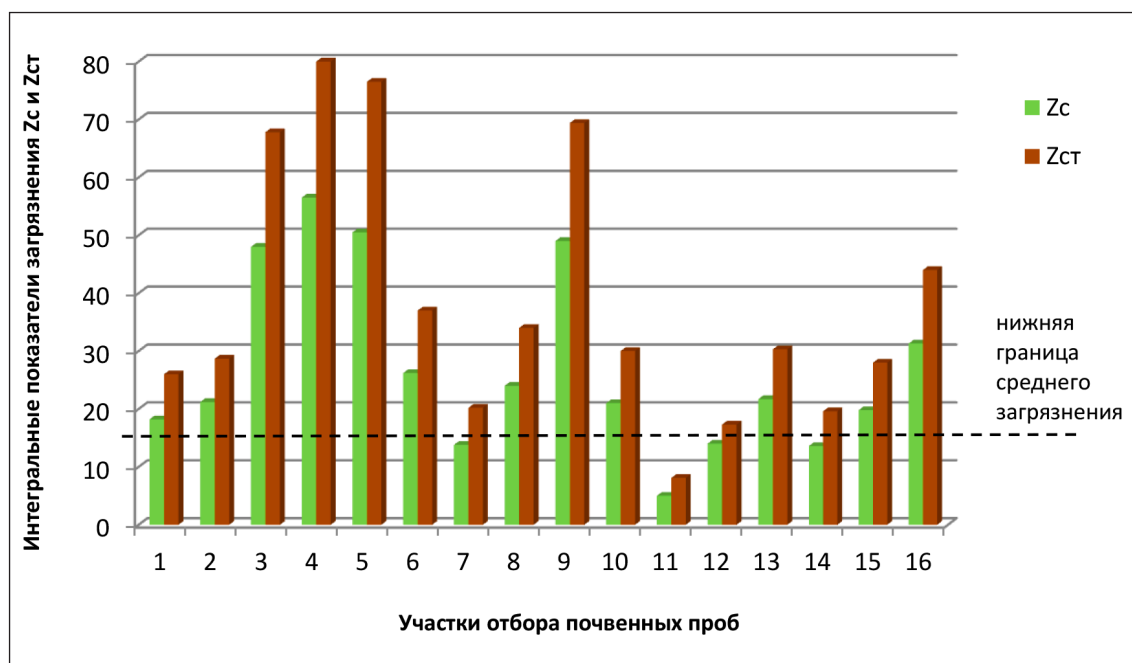


Рис. 2. Значения интегральных показателей загрязнения почв на участках отбора проб

Выявлено, что исследуемые почвы, отобранные в разных районах города Екатеринбурга, характеризуются слабкокислой реакцией среды, что свидетельствует о существовании тяжелых металлов в основном в неподвижной форме в виде органоминеральных комплексов с гуминовыми кислотами. Загрязнение почв имеет антропогенный характер и определяется близостью расположения источников загрязнения. Установлено, что в почвах Екатеринбурга формируются техногенные геохимические аномалии состава  $Cd_{3-20} Pb_{3-18} Zn_{2-9} Ni_{1-9} Cu_{1-7}$ . Наибольшим загрязнением характеризуются почвы (№ 3, 4, 5, 9), расположенные неподалеку от металлургических комбинатов; рассчитанный для этих почв интегральный показатель загрязнения соответствует высокому уровню загрязнения.

Таким образом, очевидно, что в результате техногенного воздействия уровень металлизации почв в Екатеринбурге достаточно высок.

Как видно из рис. 2, загрязнение ниже среднего уровня отмечается только для четырех участков отбора проб: № 7, 11, 12, 14. Однако с учетом коэффициентов токсичности металлов значения суммарного показателя загрязнения резко возрастают, и низкий уровень загрязнения при этом свойствен лишь одной пробе почвы – № 11.

## Заключение

Выявлено, что исследуемые почвы, отобранные в разных районах города Екатеринбурга, характеризуются слабкокислой реакцией среды, что свидетельствует о существовании тяжелых металлов в основном в неподвижной форме в виде органоминеральных комплексов с гуминовыми кислотами. Загрязнение почв имеет антропогенный характер и определяется близостью расположения источников загрязнения. Установлено, что в почвах Екатеринбурга формируются техногенные геохимические ассоциации состава  $Cd_{3-20} Pb_{3-18} Zn_{2-9} Ni_{1-9} Cu_{1-7}$ . Наибольшим загрязнением характеризуются почвы (№ 3, 4, 5, 9), расположенные неподалеку от металлургических комбинатов; рассчитанный для этих почв интегральный показатель загрязнения соответствует высокому уровню загрязнения.

Таким образом, очевидно, что в результате техногенного воздействия уровень металлизации почв в Екатеринбурге достаточно высок.

## Список литературы

1. Сухоносенко Д.С. Анализ пространственной динамики загрязнения почв тяжелыми металлами в пределах селитебной зоны города Михайловка // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2019. № 3. С. 88–94. DOI: 10.23683/0321-3005-2019-3-88-94.
2. Yizhang Liu, Tangfu Xiao, Robert B. Perkins, Jianming Zhu, Zhengjie Zhu, Yan Xiong, Zengping Ning. Geogenic cad-

- mium pollution and potential health risks, with emphasis on black shale // *Jornal of Geochemical Exploration*. 2017. Vol. 176. P. 42–49. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.04.004.
3. Михеева Е.В., Байтимилова Е.А., Голдырева Е.В. Химическая безопасность населения: природный компонент // *Технологии гражданской безопасности*. 2009. Т. 6, № 3–4. С. 137–143.
4. Z. Li, Z. Ma, T.J. van der Kuijp, Z. Yuan, L. Huang. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment // *Science of the Total Environment*. 2014. Vol. 468–469. P. 843–853. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.08.090.
5. Касимов Н.С., Власов Д.В. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета) // *Вестник Московского университета*. 2018. № 3. С. 14–22.
6. Маркова А.В., Ермолаева С.В., Гончаренко А.П. Оценка загрязнения почв территории города Ульяновска тяжелыми металлами // *Экология урбанизированных территорий*. 2019. № 2. С. 75–79. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-12075.
7. ГОСТ 17.4.3.01-83. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Издательство стандартов, 2004. 4 с. URL: <http://www.цнмвл.рф/assets/files/gost-174301-83.pdf> (дата обращения: 02.01.2024).
8. Гафуров Ф.Г. Почвы Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. 396 с.
9. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах: ГН 2.1.7.020-94 (Дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91) Утв. ГКСН РФ. 27.12.94. М., 1995. 7 с.
10. Шабанов М.В., Маричев М.С. Тяжелые металлы в почвах геохимически сопряженных ландшафтов Красноуральского промышленного узла // *Социально-экологические технологии*. 2020. Т. 10, № 2. С. 201–225. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-2-201-225.
11. Шабанов М.В., Маричев М.С. Геохимические аномалии тяжелых металлов в почвах природных и антропогенных ландшафтов (на примере Красноуральского промузла) // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022. Т. 333, № 6. С. 203–239. DOI: 10.18799/24131830/2022/6/3545.
12. Байтимилова Е.А., Михеева Е.В., Беспамятных Е.Н., Донник И.М., Кривоногова А.С. Оценка загрязнения рекреационных зон мегаполиса тяжелыми металлами (на примере Екатеринбурга) // *Аграрный вестник Урала*. 2016. № 4. С. 71–77.
13. Харина Г.В., Алешина Л.В. Аккумуляция тяжелых металлов в почвах Свердловской области // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022. Т. 333, № 2. С. 173–183. DOI: 10.18799/24131830/2022/2/3330.
14. Ушакова Е.С., Караваева Т.И., Белкин П.А. Экологическое состояние почв промышленных территорий (на примере города Березники, Пермский край): сравнение отечественных и зарубежных методов оценки // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2020. Т. 331, № 10. С. 58–70. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2850.

## СТАТЬЯ

УДК 556.31/.08:553.98(571.1)

DOI 10.17513/use.38217

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВМЕСТИМОСТИ  
ПЛАСТОВЫХ И ЗАКАЧИВАЕМЫХ ВОД  
НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ  
В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**<sup>1,2</sup>Сальникова Ю.И.<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет, Тюмень;<sup>2</sup>Западно-Сибирский филиал Института геологии нефти и газа СО РАН, Тюмень,  
e-mail: salnikovaji@tyuiu.ru

В статье представлены результаты исследования возможности выпадения осадка при смешивании пластовой и закачиваемой воды на примере нефтяных месторождений Западной Сибири, разрабатываемых с применением системы поддержания пластового давления. Лабораторные исследования выполнялись на базе отобранных проб воды из нефтепродуктивного интервала (неоком) и минерализованной воды апт-альб-сеноманского комплекса Западно-Сибирского мегабассейна при комнатной и заданной пластовой температуре. Выпадение карбонатного осадкообразования в лабораторных условиях не наблюдалось, при смешении вод физико-химические процессы не будут оказывать существенного влияния на фильтрационные свойства пласта-коллектора. Выполнена оценка стабильности смешиваемых вод относительно формирования неорганических отложений (карбоната кальция) по методикам Стиффа-Девиса, Дебая-Гюккеля и по методике, утвержденной отраслевым стандартом с использованием программы «РОСА». Термодинамические расчеты карбонатных равновесий для исследуемых вод и их смесей показали, что смешиваемые воды по степени насыщения находятся в пределах близких значений. Это свидетельствует о равновесном состоянии системы, соответствующей среднеагрессивной среде, не образующей осадок карбоната кальция. Прогноз осадкообразования кальцита по регламентированной методике отраслевого стандарта в смешиваемых водах неокомского и апт-альб-сеноманского комплексов предполагает незначительно количество осадка кальцита. По результатам расчетов и лабораторных исследований совместимости смешиваемых вод можно судить о сходимости полученных данных.

**Ключевые слова:** Западно-Сибирский мегабассейн, пластовые воды, попутные воды, система поддержания пластового давления, геохимическая совместимость вод, осадок карбоната кальция

*Экспериментальные и аналитические работы по изучению химического состава пластовых вод выполнены при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ №FWZZ-2022-0015 в рамках НИР СО РАН.*

**RESULTS OF STUDIES ON THE COMPATIBILITY  
OF FORMATION AND INJECTED WATER  
IN HYDROCARBON FIELDS IN WESTERN SIBERIA**<sup>1,2</sup>Salnikova Yu.I.<sup>1</sup>Industrial University of Tyumen, Tyumen;<sup>2</sup>Institute of Petroleum Geology and Geophysics. A.A. Trofimuk, Siberian Branch of the RAS,  
West Siberian Branch, Tyumen, e-mail: salnikovaji@tyuiu.ru

The article presents the results of a study of the possibility of sedimentation when mixing formation and injected water using the example of oil fields in Western Siberia, developed using a reservoir pressure maintenance system. Laboratory studies were carried out on the basis of selected water samples from the oil-producing interval (Neocomian) and mineralized water of the Aptian-Albian-Cenomanian complex of the West Siberian megabasin at room and specified reservoir temperatures. Carbonate sedimentation was not observed in laboratory conditions; when water is mixed, physical and chemical processes will not have a significant impact on the filtration properties of the reservoir. The stability of mixed waters with respect to the formation of inorganic deposits (calcium carbonate) was assessed using the Stiff-Davies, Debye-Huckel methods and the method approved by the industry standard using the ROSA program. Thermodynamic calculations of carbonate equilibria for the studied waters and their mixtures showed that the mixed waters are within close values in terms of the degree of saturation. This indicates the equilibrium state of the system, corresponding to a moderately aggressive environment that does not form calcium carbonate precipitate. The forecast of calcite sedimentation using the regulated industry standard methodology in the mixed waters of the Neocomian and Aptian-Albian-Cenomanian complexes assumes a negligible amount of calcite sediment. Based on the results of calculations and laboratory studies of the compatibility of mixed waters, one can judge the convergence of the data obtained.

**Keywords:** West Siberian megabasin, formation waters, associated waters, reservoir pressure maintenance system, geochemical compatibility of waters, calcium carbonate sediment

*Experimental and analytical work to study the chemical composition of formation waters was carried out with the financial support of the project of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. FWZZ-2022-0015 within the framework of research work of the SB RAS.*

Разработка нефтяных месторождений на обширной территории Западной Сибири традиционно сопровождается изъятием из недр углеводородов вместе с попутно добываемыми водами, а также размещением этих вод в недра для интенсификации нефтедобычи и поддержания пластового давления (ППД) в залежах. При недостаточном объеме попутных вод для системы ППД довольно продолжительное время (более 55 лет) используются минерализованные воды аптальб-сеноманского водоносного комплекса (ААС ВК) Западно-Сибирского мегабассейна, реже используются пресные воды олигоцен-четвертичного водоносного комплекса, ресурсы поверхностных водотоков и очистные хозяйственно-бытовые стоки.

Образующаяся в результате заводнения сложная система «закачиваемая вода – пластовая вода – углеводороды – горные породы» требует тщательного изучения состояния ее равновесия. Необходимость оценки геохимической совместимости пластовых и закачиваемых флюидов является одной из важнейших задач промысловой гидрогеологии, поскольку прогноз равновесия смешиваемых вод поможет предотвратить проблемы солеотложений на скважинном оборудовании, ухудшения коллекторских свойств продуктивных пластов и, как следствие, снижения нефтеотдачи [1-4]. Безусловно, закачиваемые в пласт воды для нормирования их качества должны пройти соответствующую подготовку, что исключит (или уменьшит) негативное влияние на призабойную зону, отложение солей в пласте, коррозию оборудования, развитие бактериального загрязнения и другие осложнения.

Вопросами гидрогеологических исследований на месторождениях при выборе водистой зона для заводнения нефтяных залежей занимались В.В. Муляк, Ю.П. Гаттенбергер [5], А.В. Бриков [6]. Процессам, приводящим к гидрохимическим изменениям в продуктивных пластах во время заводнения, посвящены работы А.М. Никанорова [7], В.А. Ольховской [8] и др. Существующие методы прогнозирования солеобразования в скважинах и на нефтепромысловом оборудовании рассмотрены в работах В.Е. Кашавцева [9], О.П. Абрамовой, Л.А. Абуковой [10], Н.Н. Михайлова [11], В.Ю. Мастерковой [12] и др.

Достаточно широко проблема формирования карбонатных солей в пластовых условиях нефтяных месторождений, моделирование процессов осаждения и пути их решения освещены и зарубежными учеными [13-15].

Установлено, что отложение солей в пластах-коллекторах и на нефтепромысловом оборудовании при разработке месторождений Западной Сибири связано с изменением термодинамических условий пластовых флюидов, находящихся в состоянии насыщения по отношению к карбонатам коллектора, нестабильностью закачиваемых вод в пластовых условиях, смешением химически несовместимых вод [9].

На месторождениях Западной Сибири карбонатные солеотложения представлены, главным образом, в виде карбоната кальция. Растворимость карбоната кальция существенно зависит от термобарических условий. С повышением температуры и снижением давления растворимость снижается, и отложение карбоната кальция усиливается. Кроме того, растворимость карбонатных солей тесно связана с наличием в растворе двуокси углерода ( $\text{CO}_2$ ), который позволяет удерживать карбонат кальция в растворенном состоянии. Карбонаты, содержащиеся в горных породах осадочного чехла, активно растворяются в воде, содержащей  $\text{CO}_2$ . При этом происходит обогащение воды ионами  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Этот процесс сопровождают реакции с осаждением, растворением и выщелачиванием карбоната кальция [5]. Поэтому на территории Западной Сибири при нагнетании в нефтеносные пласты агента заводнения и, как следствие, изменения термодинамических условий, прогноз возможного осадкообразования карбонатов остается актуальным.

Автором обобщены фондовые данные результатов многолетних исследований совместимости пластовых и закачиваемых флюидов методом термодинамического моделирования, выполненных в пределах Западно-Сибирского мегабассейна в рамках отчетов по оценке запасов подземных вод с целью их использования в системах поддержания пластового давления. Согласно обобщенным данным [2], наиболее часто встречаемый вариант в анализируемых данных – это отсутствие осадка кальция в смешиваемых флюидах. Максимальные концентрации карбоната кальция (в том числе отсутствие осадка), возможные в результате смешения закачиваемых вод с водами продуктивных отложений неокома и юры, прогнозировались в 68% проведенных определений, при соотношении долей пластовой воды и агента заводнения 1:9, т.е. при условии практически полного замещения исходного пластового флюида. Таким образом, при моделировании солеот-

ложений важен исходный состав пластовых и закачиваемых вод, а интенсивность солеотложения проявляется при определенной степени разбавления пластовых вод.

Цель исследования – экспериментально выявить факт выпадения осадка при смешивании пластовых вод неокомского и апт-альб-сеноманского комплексов при заданной температуре, характерной для пластовых условий, что позволит воссоздать процесс заводнения продуктивных отложений неокома минерализованными водами апт-альб-сеноманского комплекса.

### Материал и методы исследования

#### *Геолого-гидрогеологические условия*

Восточно-Янчинское месторождение расположено на территории Нижневартовского района Ханты-Мансийского автономного округа-Югры Тюменской области.

Геологический разрез Восточно-Янчинского месторождения представлен мощной толщей песчано-глинистых образований мезозойско-кайнозойского осадочного чехла, с резким угловым и стратиграфическим несогласием залегающих на метаморфизованных породах доюрского складчатого фундамента. В тектоническом плане месторождение приурочено к юго-восточному склону Северо-Нижневартовской моноклинали, граничащей с юга с Нижневартовским сводом, вблизи границы двух надпорядковых структур – Хантейского мегасвода и Надым-Тазовской синеклизы.

По нефтегеологическому районированию территории Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (под ред. ГП «НАЦ РН им. В.И. Шпильмана», 2010 г.) Восточно-Янчинское месторождение относится к Вартовскому нефтегазоносному району Среднеобской нефтегазоносной области. Промышленно нефтеносными являются терригенные отложения мегионской свиты нижнемелового возраста ( $K_{1v}$ , пласт  $BB_{10}$ ) и васюганской свиты верхнеюрского возраста ( $J_3$ , пласт  $ЮВ_1^1$ ).

Согласно гидрогеологическому районированию территории РФ (ВСЕГИНГЕО, 2008 г.) Восточно-Янчинское месторождение расположено в центральной части Западно-Сибирского сложного артезианского бассейна и находится в пределах Иртыш-Обского АБ стока (гидрогеологическая структура II порядка).

В вертикальном разрезе бассейна выделяют два гидрогеологических этажа, резко различающиеся по своим гидрохимическим и гидродинамическим особенностям,

условиям залегания, питания и разгрузки подземных вод. Региональным водоупором, изолирующим минерализованные воды нижнего этажа от пресных вод верхнего, служит мощная толща (в районе работ порядка 600 и более метров) кремнисто-глинистых пород турон-эоценового возраста. В настоящей статье рассматриваются подземные воды апт-альб-сеноманского и неокомского водоносных комплексов нижнего гидрогеологического этажа.

Воды ААС ВК хлоридно-кальциевого типа по В.А. Сулину. Минерализация пластовых вод – 19,6 г/дм<sup>3</sup>. Величина водородного показателя (рН) – 8,0 (среда слабощелочная). Основные макрокомпоненты представлены ионами натрия+калия – 7016 мг/дм<sup>3</sup>, кальция – 371 мг/дм<sup>3</sup>, магния – 87 мг/дм<sup>3</sup>, хлора – 11964 мг/дм<sup>3</sup>, гидрокарбоната – 140 мг/дм<sup>3</sup>.

Формула солевого состава подземных вод апт-альб-сеноманского водоносного комплекса имеет следующий вид:

$$M_{19,6} \frac{Cl_{99,3} HCO_3 0.7}{(Na + K) 92,2 Ca 5.6 Mg 2.2} pH_{8,0}. (1)$$

Пластовые воды неокомского хлоридно-кальциевого типа по В.А. Сулину. Величина водородного показателя – 6,9. Минерализации вод – 20,9 г/дм<sup>3</sup>. Содержание ионов натрия+калия составляет – 7110 мг/дм<sup>3</sup>, магния – 69 мг/дм<sup>3</sup>, хлора – 12851 мг/дм<sup>3</sup>, гидрокарбоната – 140 мг/дм<sup>3</sup>.

Формула солевого состава пластовых вод неокомского комплекса:

$$M_{20,9} \frac{Cl_{99,4} HCO_3 0.6}{(Na + K) 87,8 Ca 10.6 Mg 1.6} pH_{6,9}. (2)$$

#### *Методика исследований совместимости пластовых и закачиваемых вод*

Эксперимент выполнен на базе аккредитованной лаборатории физико-химических методов исследований ИНГГ СО РАН им. А.А. Трофимука (аттестат аккредитации № RA.RU.21AJ28).

Для лабораторных исследований в декабре 2023 г. были отобраны пробы попутной воды продуктивных отложений неокома и пластовой воды апт-альб-сеноманского комплекса на Восточно-Янчинском месторождении в объеме по 6 л. Из пробы неокомского комплекса отделить воду от нефти не удалось, ввиду отсутствия обводненности неокомской залежи на начальном этапе разработки Восточно-Янчинского месторождения.

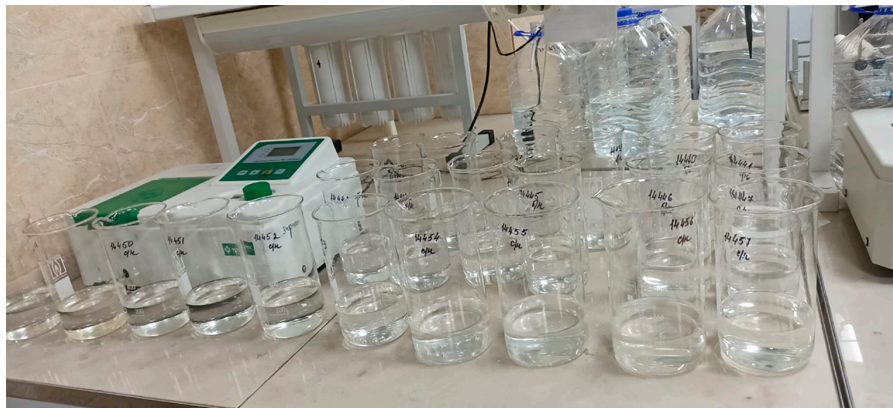


Рис. 1. Подготовленные смеси проб воды

Для эксперимента было принято решение использовать близкую по геохимическим характеристикам пробу воды неокомского комплекса с месторождения им. Малыка, в качестве месторождения-аналога.

Из исходных профильтрованных проб были подготовлены образцы объемом 400 мл каждая в соотношениях 0:10, 1:9, 2:8, 3:7, ..., 8:2, 9:1, 10:0 в двойном количестве для проведения смешения при комнатной температуре и при заданной пластовой температуре. Всего подготовлено 22 образца. Каждой смеси присваивался лабораторный номер и формировался протокол количественного химического анализа (КХА).

Смеси изготавливались из пар проб № 14436 (пластовая вода ААС ВК) и 14437 (пластовая вода неокомского ВК) для эксперимента без нагрева, № 14447 (пластовая вода ААС ВК) и 14448 (пластовая вода неокомского ВК) для эксперимента с нагревом (рис. 1).

Для первого эксперимента, выполненного при комнатной температуре, в смесях и исходных пробах определялось рН, плотность, содержание следующих ионов: натрия, кальций, магний, хлориды, сульфаты, карбонаты, гидрокарбонаты. Визуально фиксировалось выпадение осадка.

Для второго эксперимента полученные смеси и исходные пробы (всего 11) нагреты на водяной бане до заданной температуры (+85 °С), выдерживались в течение 30 мин, извлекались и доводились до комнатной температуры. В смесях также определялось рН, плотность, содержание следующих ионов: натрия, кальций, магний, хлориды, сульфаты, карбонаты, гидрокарбонаты. Визуально фиксировалось выпадение осадка. Образцы типа 0:10 и 10:0 это исходные пробы, но нагретые наряду с остальными смеся-

ми до указанной температуры с целью определения влияния нагрева на исходные пробы.

Содержание натрия, кальция, магния, сульфатов определялось методом ионной хроматографии. Содержание карбонатов, гидрокарбонатов и хлоридов определялось титриметрически. Определение рН выполнено потенциометрическим методом. Взвешанные вещества определялись в смесях гравиметрическим методом.

При интерпретации результатов исследований следует учитывать, что все испытания проводились при атмосферном давлении.

По данным лабораторных анализов исходных проб пластовой и закачиваемой воды в работе выполнена оценка химической совместимости закачиваемых вод с водами нефтепродуктивных отложений методом термодинамического моделирования физико-химических процессов в смешиваемых водах в соответствии с ОСТом 39-229-89 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение совместимости закачиваемых и пластовых вод по кальциту и гипсу расчетным методом» с использованием программы «РОСА», методом Стифа-Девиса и по методике Дебая-Гюккеля.

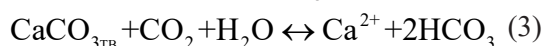
В основу методики в соответствии (по ОСТ 39-229-89) положена зависимость растворимости солей кальция и магния в многокомпонентных смесях от температуры, давления и газонасыщенности вод. Относительная погрешность метода – 15%. Исходный состав пластовых и закачиваемых вод, в которых преобладает один или два вида солей, определяет состав солеотложений, а степень разбавленности пластовых вод может влиять на интенсивность солеотложения. Согласно ОСТу 39-225-88, воды, смешиваемые в пластовых условиях (с учетом коллекторских свойств), считают-

ся совместимыми, если количество осадка не превышает установленных значений.

Метод Стиффа-Девиса основан на возможности осаждения карбоната кальция путем сравнения фактического рН с расчетным значением рН<sub>с</sub> при насыщении данной воды карбонатом кальция [9].

В статье также использована методика Дебая-Гюккеля, применяемая при прогнозировании выпадения карбоната кальция на участках обводнения залежей нефти, основанная на теории ионного строения раствора.

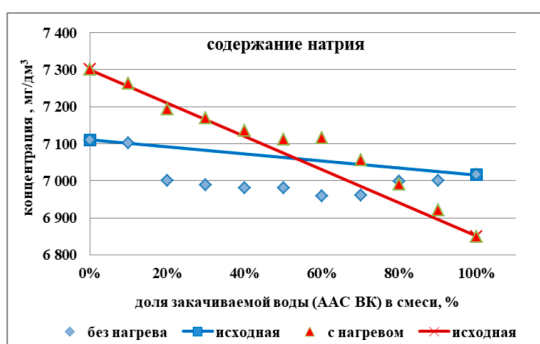
Насыщенность вод карбонатом кальция определялась путем вычисления индекса неравновесности с CaCO<sub>3</sub> по реакции:



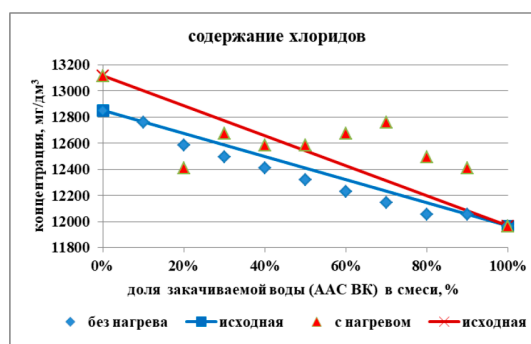
Индекс неравновесности уменьшается, стремясь к нулю, по мере насыщения воды карбонатом кальция. Индекс неравновесности принимает отрицательные значения при пресыщении вод. А при его нулевом значении система находится в равновесном состоянии.

### Результаты исследования и их обсуждение

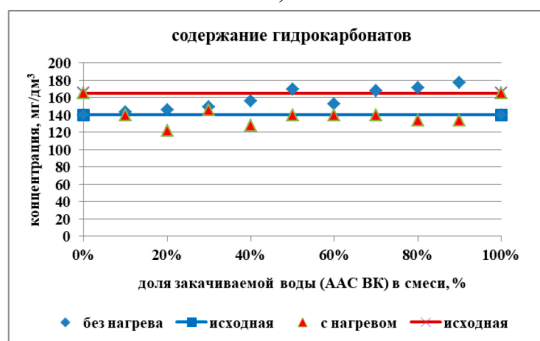
По результатам сопутствующих лабораторных измерений для опытов без нагревания и с нагреванием исходных проб и их смесей построены графики зависимости определяемых показателей от доли закачиваемой воды в смесях (рис. 2).



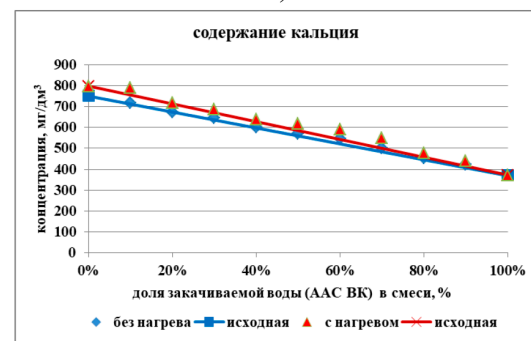
1)



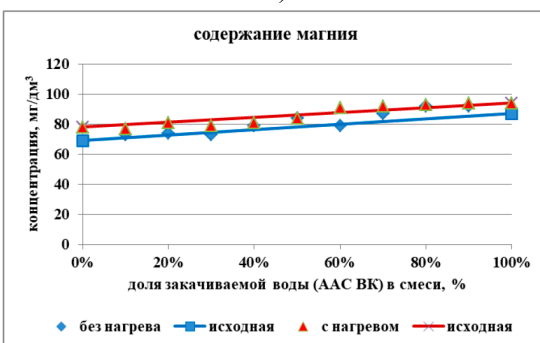
2)



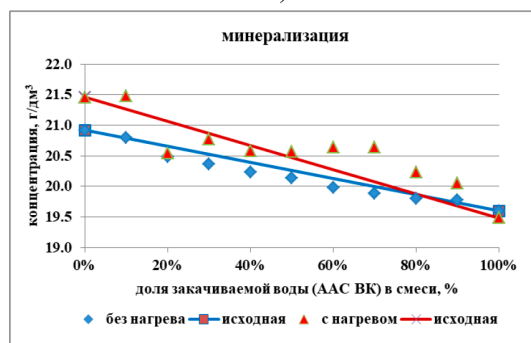
3)



4)



5)



6)

Рис. 2. Графики зависимости определяемых показателей (1 – натрий, 2 – хлор, 3 – гидрокарбонат, 4 – кальций, 5 – кальций, 6 – минерализация) от доли закачиваемой воды в смесях



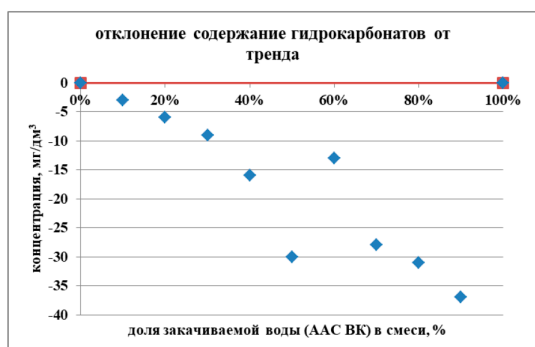
При визуальном осмотре смесей без нагревания (№№14436+14437) и после нагревания (№№14447+14448) выпадение осадка не наблюдалось. В исходных пробах, подвергшихся нагреванию, осадок также не наблюдался.

В целом, содержание основных макрокомпонентов, натрия, хлоридов, гидрокарбонатов, закономерно меняется в смесях согласно их содержаниям в исходных пробах (рис. 2). Все значения концентраций в смесях в основном удовлетворяют линейному тренду, построенному по значениям концентраций в исходных пробах. Нагревание исходных проб не влияет на содержание этих показателей (концентрации натрия, хлоридов и гидрокарбонатов в прогретых и не прогретых пробах одинаковы). Однако следует отметить некоторые отклонения от линии тренда концентраций хлоридов в смесях, подвергшихся нагреванию, что может быть объяснено методикой определения, дающей около 10% погрешности измерений. Концентрации гидрокарбонатов при нагревании также имеют небольшую

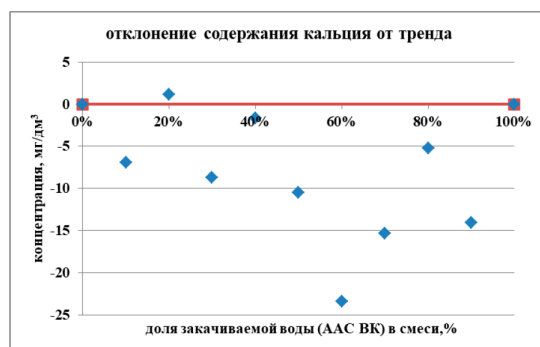
тенденцию к уменьшению относительно линии тренда. Однако все отклонения находятся в пределах погрешности измерения и носят случайный характер.

Незначительные колебания содержания магния в смесях (аналогичны в опытах с нагреванием и без) относительно линейного тренда обусловлены его низкими концентрациями, относительно высокой погрешностью измерения (20%) в этом диапазоне. Содержание кальция – отмечается отклонение (занижение) концентраций в смесях от их исходных значений. При добавлении в пластовую воду неокомского ВК воды ААС ВК содержание кальция снижается практически в два раза, независимо от температурных условий эксперимента.

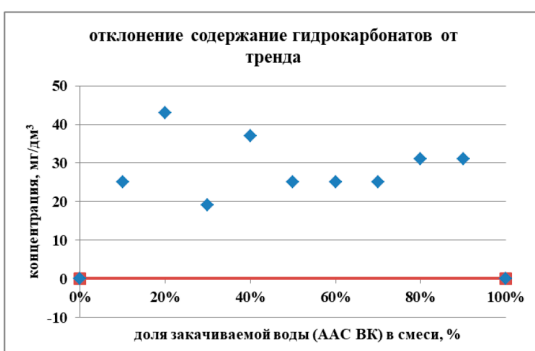
Характер снижения, вероятно, связан с содержанием гидрокарбонатов в пробах смешиваемых вод. При добавлении 10% апт-сеноманской воды содержание кальция падает и при дальнейшем разбавлении стремится к содержанию кальция в пробе закачиваемой воды.



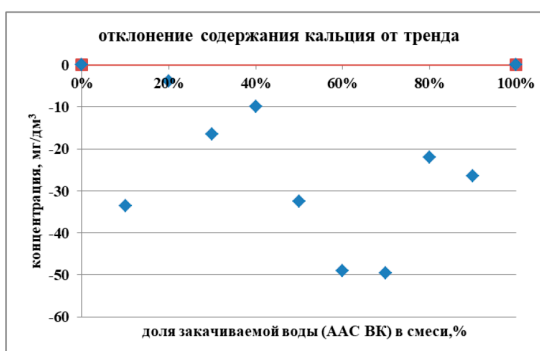
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Отклонения от линейного тренда содержания: а) гидрокарбонатов (без нагрева), б) кальция (без нагрева), в) гидрокарбонатов ( $t=+85^{\circ}\text{C}$ ), г) кальция ( $t=+85^{\circ}\text{C}$ )

Связь отклонения содержания в смесях кальция с содержанием гидрокарбонатов будет очевидной, если рассмотреть более детально отклонение содержания гидрокарбонатов в смешанных пробах. Тренд построен по значениям концентраций в исходных непрогретых пробах. Разница между ним и лабораторно измеренным содержанием кальция и гидрокарбонатов в каждой точке смешения показана на рисунке 3 (а, б). Как видим, с увеличением доли пластовой воды в смеси наблюдается некоторая тенденция роста «недостатка» и кальция, и гидрокарбонатов. Таким образом, при смешении исходных проб, исходя из их концентраций, можно ожидать более высокое содержание кальция и гидрокарбонатов в смесях.

Известно, что все гидрокарбонаты в воде растворимы [9]. Гидрокарбонат кальция обуславливает временную жесткость воды. При нагревании раствора гидрокарбоната кальция он разлагается:



В исходной пластовой воде при нагревании выпадение осадка визуально не фиксировалось, соответственно не фиксируется лабораторным путем снижение содержания кальция и гидрокарбонатов. Вероятно, причиной этому является то, что эта вода уже была изначально нагретой до указанной температуры и содержание гидрокарбоната кальция является равновесным. В растворенном виде гидрокарбонаты удерживаются благодаря наличию свободной углекислоты. Для поддержания углекислотного равновесия в более соленой воде требуется меньшее количество свободной углекислоты.

Описанный эффект отчетливо виден в смесях проб с нагревом (рис. 3 (в, г)), где пластовые воды характеризуются высоким содержанием гидрокарбоната. Однако содержание кальция в смесях невелико, поэтому выпадение осадка незначительно.

На рисунке 4, построенном на данных основных макрокомпонентов в исследуемых водах и их смесях, прослеживается спрямление линий графиков, что подтверждает отсутствие образования осадка.

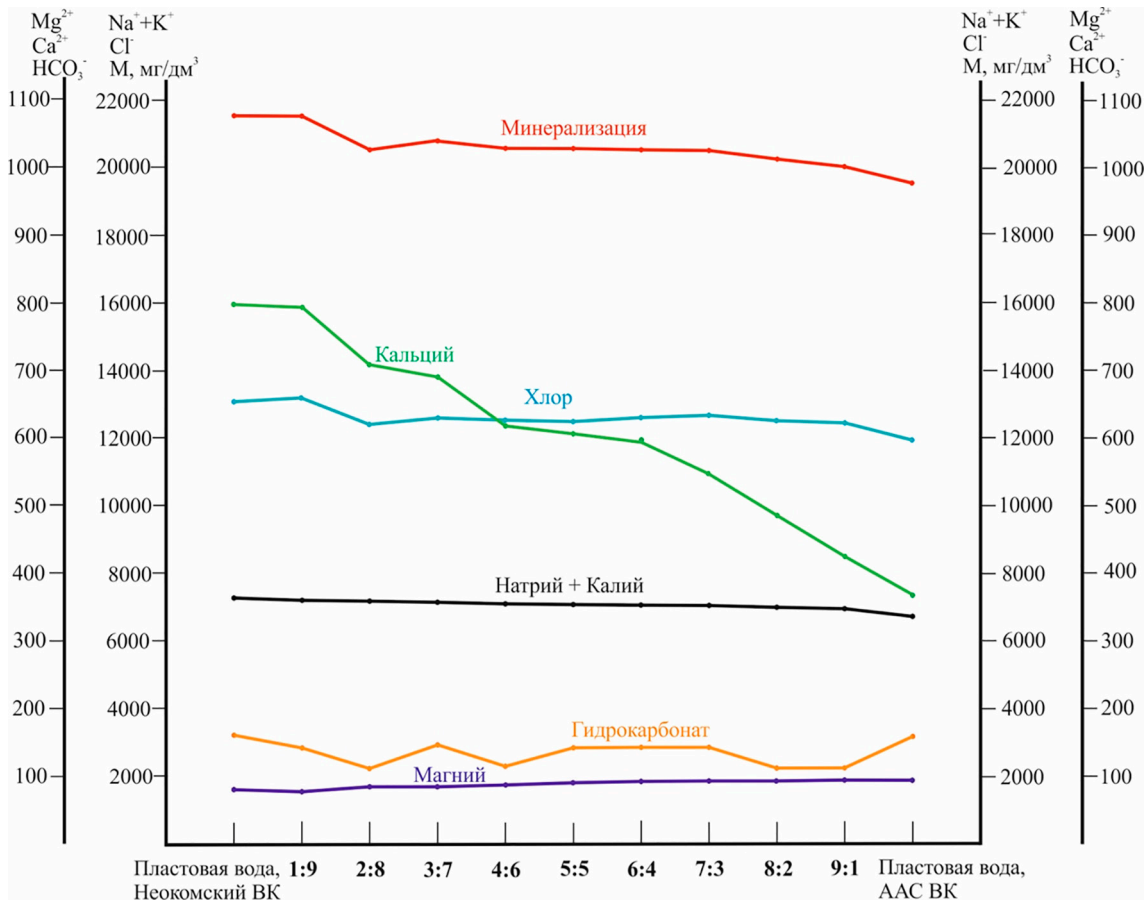


Рис. 4. Графики смешения пластовых вод неокомского и ант-альб-сеноманского водоносных комплексов при температуре +85°C

**Таблица 1**

Расчеты совместимости пластовых и закачиваемых вод по методу Дебая-Гюккеля (при  $t=+85^{\circ}\text{C}$ )

Пропорция, % Наименование пробы	pH	Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Минерализация (расчет), г/дм <sup>3</sup>	Индекс неравновесности
Пластовая вода	7.6	7300	78	797	165	<12,5	<2,0	13117	21.5	-1.81
9:1	7.8	7264	77	788	140	<12,5	<2,0	13205	21.5	-1.94
8:2	8.2	7193	81	716	122	<12,5	24	12408	20.5	-2.24
7:3	8.0	7170	79	686	146	<12,5	18	12673	20.8	-2.10
6:4	8.1	7135	81	637	128	<12,5	18	12585	20.6	-2.11
5:5	8.1	7112	84	617	140	<12,5	24	12585	20.6	-2.14
4:6	8.3	7115	91	591	140	<12,5	30	12673	20.6	-2.32
3:7	8.3	7056	92	549	140	<12,5	42	12762	20.6	-2.29
2:8	8.3	6991	93	479	134	<12,5	36	12496	20.2	-2.21
1:9	8.3	6920	94	441	134	<12,5	48	12408	20.0	-2.18
Закачиваемая вода	8.0	6850	94	372	165	<12,5	36	11964	19.5	-1.90

**Таблица 2**

Расчеты совместимости пластовых и закачиваемых вод по методу Стиффа-Девиса (при  $t=+85^{\circ}\text{C}$ )

Пропорция, % Наименование пробы	pH	Минерализация (расчет), г/дм <sup>3</sup>	Ионная сила раствора	Константа	pCa	pЩ	pHs	JS	JSt
Пластовая вода	7.6	21.5	0.39	1.20	2.70	3.89	7.79	-0.19	7.98
9:1	7.8	21.5	0.37	1.20	2.68	3.88	7.76	0.04	7.72
8:2	8.2	20.5	0.37	1.19	2.88	3.92	7.99	0.21	7.78
7:3	8.0	20.8	0.37	1.19	2.71	3.89	7.79	0.21	7.58
6:4	8.1	20.6	0.37	1.19	2.78	3.9	7.87	0.23	7.64
5:5	8.1	20.6	0.37	1.19	2.8	3.88	7.87	0.23	7.64
4:6	8.3	20.6	0.37	1.19	2.82	3.88	7.89	0.41	7.48
3:7	8.3	20.6	0.36	1.19	2.89	3.88	7.96	0.34	7.62
2:8	8.3	20.2	0.35	1.18	2.99	3.88	8.05	0.25	7.8
1:9	8.3	20.0	0.34	1.16	3.05	3.88	8.09	0.21	7.88
Закачиваемая вода	8.0	19.5	0.39	1.15	3.12	3.9	8.17	-0.17	8.34

Концентрации солеобразующих ионов в пластовых, закачиваемых водах и их смесях, определенные лабораторным путем, позволили выполнить термодинамические расчеты насыщенности пластовых вод относительно карбоната кальция по методике Дебая-Гюккеля. Результаты исследований и расчетов коэффициентов неравновесности приведены в таблице 1.

Проведенные расчеты карбонатных равновесий для исследуемых вод и их сме-

сей по методике Дебая-Гюккеля, с применением лабораторных данных, показали перенасыщенность смешиваемых вод относительно карбоната кальция, индекс неравновесности характеризуется отрицательным значением (табл. 2). Однако при смешении минерализованных пластовых и закачиваемых вод степень насыщения находится в пределах близких значений, что свидетельствует о равновесном состоянии системы.

Таблица 3

Результаты определения возможности карбонатного осадкообразования при смешении вод агента нагнетания и пластовых вод нефтепродуктивных отложений (давление 257 атм,  $t=+85^{\circ}\text{C}$ )

Доля воды в смеси, %		Содержание осадкообразующих компонентов, г/дм <sup>3</sup>			Степень насыщения	Осадок, г/дм <sup>3</sup>	Минерализация, г/дм <sup>3</sup>	Давление насыщения CO <sub>2</sub> , атм
Пластовая неокомского ВК	Закачиваемая ААС ВК	Ca	Mg	Карб. щелоч.				
100	0	0.750	0.069	0.140	0.999	0.000	20.92	0.991
80	20	0.674	0.073	0.147	1.123	0.013	20.66	0.795
60	40	0.598	0.076	0.155	1.288	0.029	20.40	0.599
50	50	0.560	0.078	0.158	1.400	0.037	20.27	0.500
30	70	0.485	0.082	0.165	1.751	0.059	20.01	0.304
10	90	0.409	0.085	0.173	2.798	0.092	19.75	0.108
0	100	0.371	0.087	0.176	8.787	0.129	19.62	0.010

Расчеты по методике Стиффа-Девиса определили, что при  $\text{pH} < \text{pH}_s$  индекс насыщения (IS) имеет отрицательные значения в неразбавленных пробах пластовой и закачиваемой воды. Это указывает на то, что вода имеет способность растворять дополнительное количество карбоната кальция. В таком случае индекс стабильности (IS<sub>t</sub>) изменяется в пределах 7,98-8,34 и соответствует стабильной или очень агрессивной воде, не образующей осадок. В анализируемых смесях вод при  $\text{pH} > \text{pH}_s$  индекс насыщения (IS) характеризуется положительным значением, индекс стабильности изменяется от 7,48 до 7,88, что соответствует среднеагрессивной воде, не образующей осадок карбоната кальция [9].

В процессе смешения вод одного генетического типа наблюдается постепенное уменьшение давления насыщения CO<sub>2</sub>, значений минерализации, количества ионов кальция и магния (табл. 3).

Расчеты, выполненные в программе «РОСА» по регламентированной методике ОСТА 39-229-89, прогнозируют некоторое увеличение количества осадка кальцита по мере увеличения доли агента нагнетания, но не более 92,0 мг/дм<sup>3</sup> при условии соотношения 1:9 пластовой и закачиваемой воды в смеси. По мере продвижения агента нагнетания по пласту возможно постепенное его растворение. По расчетным данным закачиваемая вода не стабильна в термобарических условиях продуктивных нефтяных пластов и может выделять осадок кальцита в прифилтровой зоне пласта до 129,0 мг/дм<sup>3</sup>.

### Выводы

По результатам определения возможности карбонатного осадкообразования при смешении пластовых вод неокомского комплекса и закачиваемой воды из апт-альбсеноманского комплекса выпадение кальцитов в лабораторных условиях не наблюдалось, вероятно, при смешении вод физико-химические процессы не будут оказывать существенного влияния на фильтрационные свойства пласта-коллектора.

Проведенные по данным лабораторных анализов расчеты моделирования совместности закачиваемых и пластовых вод показали, что смешиваемые воды по степени насыщения находятся в пределах близких значений, что свидетельствует о равновесном состоянии системы, соответствующей среднеагрессивной среде, не образующей осадок карбоната кальция. Прогноз осадкообразования кальцита по регламентированной методике отраслевого стандарта в смешиваемых водах неокомского и апт-альбсеноманского комплексов предполагает незначительно количество осадка кальцита.

В целом, по результатам расчетов и лабораторных исследований можно сделать вывод о сходимости полученных результатов. На месторождениях углеводородов в Западной Сибири пластовые воды продуктивных отложений и закачиваемые воды совместимы. Однако, точность проведенной оценки не позволяет учесть всех условий, которые могут возникнуть в пластовых условиях (температурные условия насосного оборудования, химических условий,

формирующих центры кристаллизации, литологический состав пород-коллекторов и т.д.). Для предотвращения и корректировки негативных последствий при добыче нефти с применением системы заводнения пласта важен контроль физико-химических и термобарических условий подземных вод, приемистости скважин в рамках мониторинга водных объектов.

### Список литературы

1. Илюшин П.Ю., Рудакова Л.В., Калинина Е.В., Сюзев А.В., Вяткин К.А., Белик Е.С., Røgener F. Снижение негативного воздействия нефтяных месторождений на объекты гидросферы при использовании подтоварной воды для поддержания пластового давления // Экология и промышленность России. 2022. № 26(4). С. 56-61. DOI 10.18412/1816-0395-2022-4-56-61
2. Сальникова Ю.И. Актуальность формирования карбонатного осадка при смешении пластовых и закачиваемых вод на нефтяных месторождениях Западной Сибири // Рассохинские чтения: материалы международной конференции, (г. Ухта, 02-03 февраля 2023 г.). Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2023. С. 147–150.
3. Сальникова Ю.И. Прогнозирование геохимической совместимости пластовых и закачиваемых вод на нефтепромыслах Западной Сибири // Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса: материалы XI Международной научно-практической конференции обучающихся, аспирантов и ученых, посвященной 40-летию филиала ТИУ (г. Нижневартовске, 22 апреля 2021 г.). Нижневартовск – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. С. 147–150.
4. Семенова Т.В. Проблемы совместимости пластовых и закачиваемых вод на нефтепромыслах Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2017. № 4(124). С. 34-37. DOI 10.31660/0445-0108-2017-4-34-37.
5. Муляк В.В., Порошин В.Д., Гаттенбергер Ю.П., Абукова Л.А., Леухина О.И. Гидрохимические методы анализа и контроля разработки нефтяных и газовых месторождений. М.: ГЕОС, 2007. 245 с.
6. Бриков А. В., Маркин А. Н. Нефтепромысловая химия: практическое руководство по борьбе с образованием солей. М.: Де Либри, 2018. 335 с.
7. Никаноров А.М., Сокирко Л.Е. Изучение процессов смешения вод нефтяных месторождений на модели пласта в условиях высоких давлений и температур // Нефтяное хозяйство. 1973. № 12. С. 36-40.
8. Ольховская В.А., Стручков И.А., Ризванов А.А., Трусова А.С. Проблемы начального этапа эксплуатации нефтяного месторождения в условиях несовместимости пластовой и закачиваемой вод // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2020. № 2. С. 54-63. DOI 10.30713/2413-5011-2020-2(338)-54-63.
9. Кащавцев В.Е., Мищенко И.Т. Солеобразование при добыче нефти. М.: Орбита-М, 2004. 432 с.
10. Абрамова О.П., Абукова Л.А., Попов С.Н. Проблемы повышения достоверности компьютерных моделей природного и техногенного солеотложения в геологической среде. Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4. URL: <https://www.scienceeducation.ru/pdf/2011/4/24.pdf> (дата обращения: 15.01.2024).
11. Михайлов Н.Н., Мелехин С.В., Полищук В.И. Экспериментальное и модельное исследование влияния закачки слабоминерализованной воды на нефтеотдачу пластов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2016. № 7. С. 19-30.
12. Мастеркова В.Ю., Акзигитов Н.И. К проблеме расчета совместимости пластовых и закачиваемых вод // Недропользование XXI век. 2020. № 5(88). С. 70-77.
13. Gan H., Liu Z., Wang X., Zhang Y., Liao Y., Zhao G., Zhao J., Liu Z. Effect of Temperature and Acidification on Rejection of Geothermal Water into Sandstone Geothermal Reservoirs: Laboratory Study // Water 2022. № 14 (19). P. 2955. DOI: 10.3390/w14192955.
14. Limei Sun, Jiajun Xu, Wenxian Xie, Peng Lv Compatibility of water treatment agents and produced water from oilfield // Journal of Dispersion Science and Technology. 2022. Vol. 43. № 1. P. 15-21. DOI: 10.1080/01932691.2020.1813154.
15. Hamid S., De Jesús O., Jacinto C., Izetti R., Pinto H., Drogue E., Edwards C., Cassidy J., Zhang H., Dagenais P., M.A. Batocchio. A Practical Method of Predicting Calcium Carbonate Scale Formation in Well Completions // SPE Prod & Oper 31. 2016. P. 1–11. DOI: 10.2118/168087-PA.

## СТАТЬЯ

УДК 624.131.1

DOI 10.17513/use.38218

**ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ТЕРРИТОРИИ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРОДА ИННОПОЛИС  
(РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН)****<sup>1</sup>Королев Э.А., <sup>1</sup>Ескин А.А., <sup>1</sup>Королев А.Э., <sup>2</sup>Бариева Э.Р.**<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань,  
e-mail: edik.korolev@kpfu.ru;<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань,  
e-mail: enzab143@mail.ru

Рассмотрены инженерно-геологические условия территории строительства г. Иннополис, расположенной на северо-восточной окраине Приволжской возвышенности в месте слияния рек Свияга и Волга. Градостроительная деятельность ведется в пределах выравненной эрозионно-денудационной поверхности останца западной окраины Услонского массива. По особенностям строения рельефа территория относится к категории пересеченной равнины с хорошей степенью пригодности для градостроительного освоения. В строении грунтового массива принимают участие карбонатные породы казанского яруса, карбонатно-терригенные породы уржумского яруса, терригенные породы северодвинского яруса и комплекс покровных четвертичных отложений. Чередование в разрезе разновозрастных доломитов, доломитовых мергелей, глин, алевролитов и песчаников создало предпосылки для образования в массиве на разных стратиграфических уровнях водоносных горизонтов. Пластовые подземные воды сформировали три водоносных комплекса: водоносный локально водоупорный неогеново-четвертичный терригенный комплекс (N-aQ), слабоводоносный карбонатно-терригенный комплекс (P2kt) и слабоводоносный локально водоносный уржумский карбонатно-терригенный комплекс (P2ur). По совокупности геологических и гидрогеологических факторов территория градостроительства относится к III категории сложности. Поверхность грунтового массива подвержена проявлениям негативных геодинамических процессов: выветриванию, плоскостному смыву, овражной эрозии и сходу оползней. Экзогенные деформационные процессы осложняют условия строительства, требуя к себе повышенного внимания при планировке территории.

**Ключевые слова:** Республика Татарстан, Иннополис, грунтовый массив, породы, подземные воды, геодинамические процессы

**FEATURES OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS  
OF TERRITORY FOR THE INNOPOLIS CITY CONSTRUCTION  
(TATARSTAN REPUBLIC)****<sup>1</sup>Korolev E.A., <sup>1</sup>Eskin A.A., <sup>1</sup>Korolev A.E., <sup>2</sup>Barieva E.R.**<sup>1</sup>Kazan Federal University, Kazan, e-mail: edik.korolev@kpfu.ru;<sup>2</sup>Kazan State Energy University, Kazan, e-mail: enzab143@mail.ru

The engineering and geological conditions of the construction site of the Innopolis city, located on the northeastern edge of the Volga Upland at the confluence of the Sviyaga and Volga rivers, are considered. Urban planning activities are carried out within the leveled erosion-denudation surface of the remnant of the western outskirts of the Uslon massif. According to the structural features of the relief, the territory belongs to the category of rugged plain with a good degree of suitability for urban development. Carbonate rocks of the Kazanian stage, carbonate-terrigenous rocks of the Urzhumian stage, terrigenous rocks of the Severodvinian stage and a complex of cover Quaternary deposits take part in the structure of the soil massif. The alternation in the section of dolomites of different ages, dolomite marls, clays, siltstones and sandstones created the prerequisites for the formation of aquifers in the massif at different stratigraphic levels. Reservoir groundwater formed three aquifer complexes: the aquiferous locally waterproof Neogene-Quaternary terrigenous complex (N-aQ), the weakly aquiferous Kotel' nich (Severodvinian) carbonate-terrigenous complex (P2s) and the weakly aquiferous locally aquiferous Urzhumian carbonate-terrigenous complex (P2ur). Based on the combination of geological and hydrogeological factors, the urban planning area belongs to category III of complexity. The surface of the soil massif is subject to manifestations of negative geodynamic processes: weathering, planar washout, gully erosion and landslides. Exogenous deformation processes complicate construction conditions, requiring increased attention when planning the territory).

**Keywords:** the Tatarstan Republic, Innopolis, soil massif, rocks, groundwater, geodynamic processes

Большинство городов России имеют длительную историю развития. Возникнув в наиболее выгодных с точки зрения географического положения местах, они на протяжении длительного периода времени про-

должили свое существование как центры торговли и концентрирования ремесленных производств, а позже и административно-управления [1]. В современных реалиях устоявшихся торгово-производственных

связей между и внутри субъектов федерации образование новых городов представляет собой редкое явление. С точки зрения планировки развития урбанизированных территорий гораздо выгоднее укрупнять уже существующие городские поселения [2]. Однако новые веяния времени заставляют изменить эту точку зрения. Модель организации интеграционного взаимодействия востребованных научных специалистов и образовательных учреждений, а в перспективе и промышленных предприятий обуславливает выгоду образования новых центров регионального развития в виде небольших городов. Одним из таких городских поселений является г. Иннополис в Республике Татарстан, заложенный в 2012–2015 гг. [3]. Здесь, на относительно небольшой территории, предполагается организовать бизнес-центр с представительством крупнейших российских компаний, построить университет, жилые комплексы для IT-специалистов. Неслучайно в массмедиа г. Иннополис упоминается как российская «Силиконовая долина».

Возведение всех крупных новостроек в обязательном порядке сопровождается инженерно-геологическими изысканиями, направленными на определение особенностей строения грунтовых массивов [4]. Последовательность застройки территории г. Иннополис отдельными участками предопределила растянутость изысканий по площадям на многие годы. Однако накопленный к настоящему времени массив данных позволяет уже сейчас дать комплексную оценку грунтовой толщ и характера проявлений опасных геологических процессов.

Целью работы являлось изучение строения грунтового массива в основании г. Иннополис, выделение в нем основных инженерно-геологических элементов, выявление горизонтов подземных вод, а также участков проявления негативных геодинамических явлений.

#### **Материалы и методы исследования**

Материалы для анализа – керновый материал буровых скважин, результаты статического зондирования, маршрутные наблюдения по территории, выделенной под строительство г. Иннополис. При описании скважин проводился отбор грунтовых монолитов для последующих лабораторных исследований. По результатам статического зондирования выделялись инженерно-геологические элементы, в которые будут заглублены подземные железобетонные

конструкции зданий и сооружений. В ходе маршрутных исследований территории выявлялись участки проявления негативных геодинамических процессов, по бортам оврагов и речных долин осуществлялся забор родниковых вод с целью определения их химического состава.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Основой планировки градостроительной деятельности являются геоморфологические особенности местности, определяющие направления подготовительных земляных работ. В этом отношении выбор территории для возведения г. Иннополис оказался более или менее оптимальным. При рациональном подходе к плановому строительству можно поэтапно осуществлять мероприятия инженерной подготовки участков строительства под те или иные объекты с сохранением окружающего природного ландшафта в местах вероятных проявлений опасных геологических процессов.

Географически г. Иннополис расположен на северо-восточной окраине Приволжской возвышенности в месте слияния рек Волга и Свияга, напротив остров-града Свияжск. Территория городской застройки, несмотря на относительно небольшие размеры (192,7 га), характеризуется сильно расчлененным рельефом и сложными инженерно-геологическими условиями (рис. 1). С севера она ограничена крутыми обрывами речной долины р. Волга, с запада – склонами долины р. Свияга, с востока – долиной ручья Морквашинка, на севере – примыкает к полого-наклонному холмистому плато Приволжской возвышенности. Сама территория, выделенная под строительство города, приурочена к эрозионно-денудационной поверхности останца западной окраины Услонского массива. Останец возвышается в рельефе на гипсометрических отметках 192–218 м, понижаясь в сторону оврагов и речных долин до уровня 120–140 м. Перепады высот достигают до 100 м. Основная часть ландшафта городской застройки представляет собой холм с выровненной вершиной, ограниченной с боков более крутыми склонами. Склоны осложнены разветвленными овражно-балочными системами, протяженностью до 3,6 км. В тальвегах оврагов протекают небольшие ручьи, питание которых осуществляется нисходящими родниковыми водами. Областью разгрузки поверхностных водотоков является долина Волги.

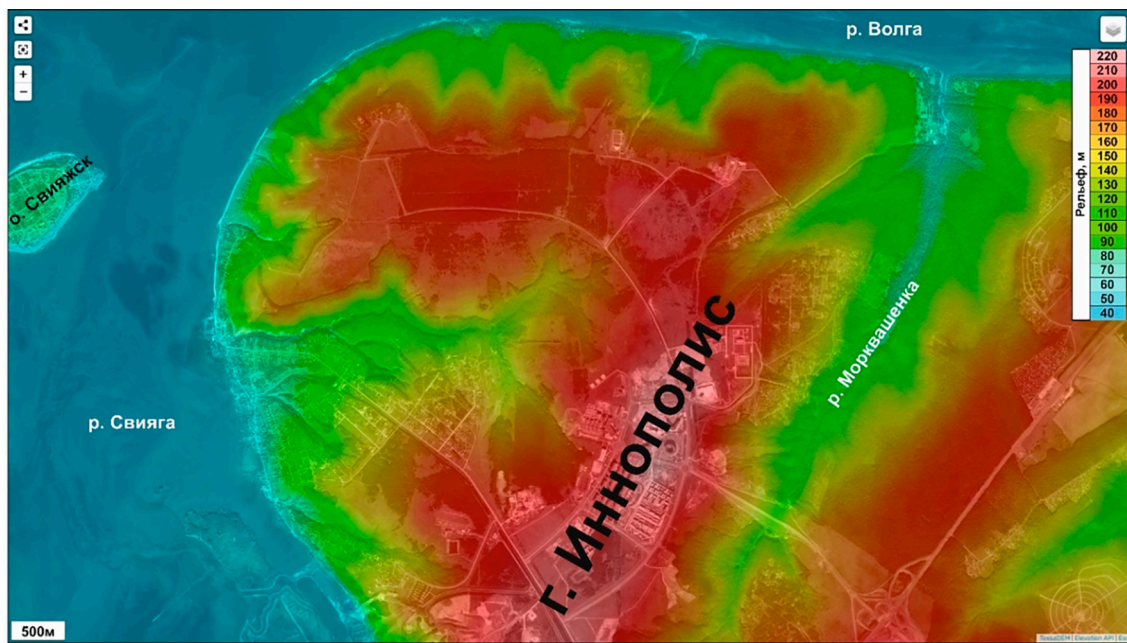


Рис. 1. Фрагмент топографической карты участка строительства города Иннополис (выкопировка с ru-ru.topographic-map.com)

К бортам речных долин приурочены более мелкие формы рельефа, представленные циркуобразными оползнями и оползнями-сплывами, реже – вывалами глыб карбонатных пород. То есть с геоморфологической точки зрения территория относится к категории пересеченной равнины с хорошей степенью пригодности для градостроительного освоения [5].

Полевые исследования в районе останца Услонского массива показали, что территория, отведенная под строительство г. Иннополис, характеризуется сложным геологическим строением (рис. 2). Основу ядра грунтового массива, возвышающегося над урезом воды р. Волга, составляют карбонатные породы казанского яруса ( $P_2kz$ ). В естественных выходах они представлены светло-серыми, плотными, микрозернистыми доломитами и органогенно-обломочными известняками. Породы секутся, разбиты многочисленными вертикальными и горизонтальными трещинами, количество которых уменьшается от периферии вглубь массива. Трещины преимущественно экзогенные, по происхождению относятся к трещинам разгрузки. Видимая мощность казанского яруса составляет около 15 м. Выше по разрезу залегают отложения карбонатно-терригенного комплекса уржумского яруса ( $P_{2ur}$ ). В нем отмечается частое переслаивание светло-серых, микрозернистых доломитов, зеленовато-серых и розово-красных

доломитовых мергелей, красно-бурых глин с прослоями алевролитов. В разрезе снизу вверх увеличивается количество и мощности терригенно-глинистых слоев и уменьшается доля доломитовых прослоек. Породы менее прочные, более интенсивно трещиноватые, способны легко разрушаться и осыпаться при слабых механических воздействиях. Мощность отложений уржумского яруса доходит до 45,0 м. Над ними залегают породы терригенного комплекса северодвинского яруса ( $P_3s$ ), слагающие вершину водораздела рек Волга и Свияга (купольная часть останца). В разрезах этого возраста переслаиваются красные глины, бурые алевролиты и зеленовато-серые песчаники с редкими прослоями известняков и мергелей. Мощность отложений северодвинского яруса доходит до 20,0 м. В кровле геологического разреза, в пределах купольной части останца, коренные породы пермского возраста на глубину до 3,5 м претерпели гипергенные преобразования. Поэтому приповерхностный слой грунтового массива от почвенного горизонта и ниже, до глубины залегания интенсивно дезинтегрированных глин, мергелей и известняков, можно отнести к четвертичным покровным отложениям. В подошве четвертичных отложений повсеместно отмечается слой элювия ( $eQ_{II-IV}$ ), представленный щебнем и дресвой карбонатных и глинистых пород, в различной степени цементированных рыхлым



глинисто-алевритовым материалом. Над ними залегает слой рыхлых, светло-бурых делювиальных суглинков ( $dQ_{II-IV}$ ). Суглинки участками опесчаненные или с включениями обломков алевритов и известняков (до 5%). От купольной части эрозионно-денудационного останца к склонам толщины делювиального слоя увеличиваются с 3,0 до 10,0 м [6]. На склонах между элювиальными и делювиальными отложениями отмечаются относительно небольшие по мощности прослойки пролювия ( $prQ_{III-IV}$ ) в виде суглинков, обогащенных древесными обломками коренных пород пермского возраста. В пределах овражно-балочных систем на локальных участках площадей присутствуют современные техногенные грунты в виде насыпей строительных и бытовых отходов ( $tQ_{IV}$ ).

Маршрутные полевые наблюдения показали, что подземные водоносные горизонты в верхней части разреза приурочены к четвертичным отложениям и к терриген-

ным породам северодвинского яруса. В несколько меньших количествах они встречаются в карбонатно-терригенных отложениях уржумского яруса.

В породах четвертичного возраста, входящих в состав локально водоносного неоген-четвертичного (N-aQ) водоносного комплекса, встречаются преимущественно грунтовые воды. Водоносные слои фиксируются на склонах грунтового массива, где отмечаются повышенные мощности элювиально-делювиальных отложений. Водовмещающими породами являются трещиноватые элювиальные образования, водоупорами – слабо измененные породы дочетвертичного возраста. Грунтовые воды безнапорные, со свободной поверхностью, движутся по направлению к долинам рек Волга и Свияга. Очаги их разгрузки встречаются в средних частях склонов в виде рассеянных выходов. Воды по составу гидрокарбонатные кальциевые, с минерализацией до 0,2 г/л.

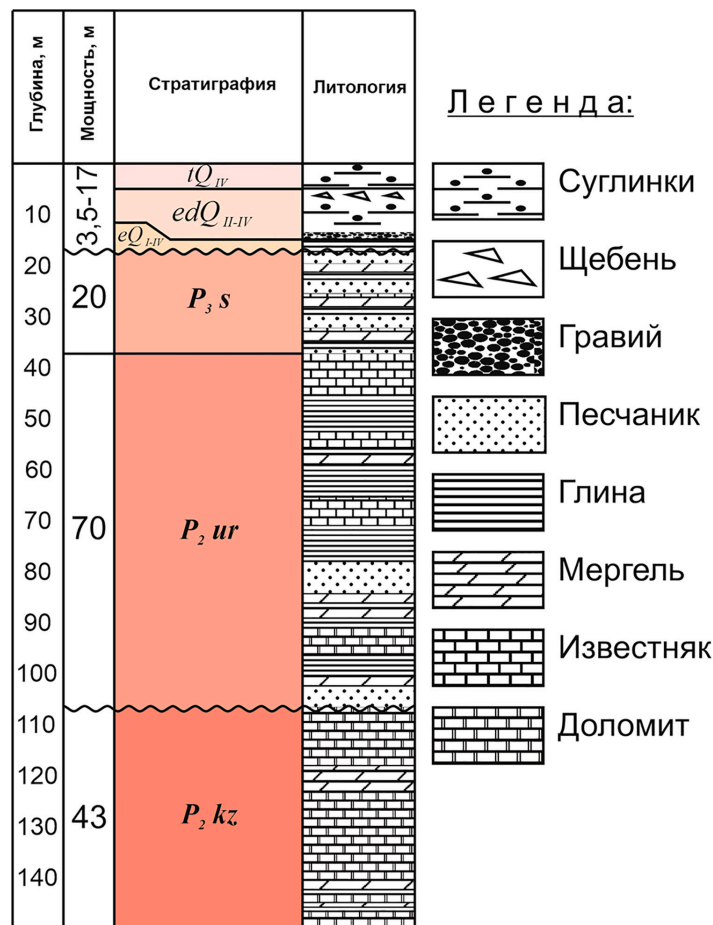


Рис. 2. Схематичный разрез грунтового массива, отведенного под строительство города Иннополис. Скомпилирован по результатам бурения и маршрутным наблюдениям (за условную нулевую отметку принята поверхность земли)

Породы северодвинского яруса являются водоносными в пределах выровненной вершины эрозионно-денудационного останца, на склонах они отсутствуют. Высокая трещиноватость и невыдержанность по простиранию слоев глин, песчаников, известняков и мергелей создали предпосылки для формирования здесь единой водоносной системы, относящейся к локально слабОВОдоносной котельничской карбонатно-терригенной свите ( $P_3kt$ ) в соответствии с гидрогеологическим расчленением разреза [7]. Основная часть водоносных горизонтов приурочена к слоям песчаников. Воды слабо напорные, разгружаются в виде нисходящих родников в стенках оврагов и речных долин с дебитом 0,01–0,1 л/с (реже 0,2–0,25 л/с). Источником питания пластовых подземных вод являются атмосферные осадки. Воды пресные (0,2–0,6 г/л), по составу гидрокарбонатно-кальциевые.

Ниже в разрезе грунтового массива расположен локально водоносный карбонатно-терригенный комплекс уржумского яруса ( $P_2ur$ ). Он сложен переслаивающимися глинами, песчаниками, мергелями, доломитами и известняками. Водоносные горизонты приурочены к склонам эрозионно-денудационного останца, где залегают трещиноватые карбонатные породы и песчаники. Воды комплекса пластовые, напорно-безнапорные, по составу гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, с минерализацией от 0,3 до 1,0 г/л. Питание водоносных горизонтов осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетока из вышележащих отложений, разгрузка в виде родников происходит в бортах речных долин.

Сложные геологические и гидрогеологические условия территории, обусловленные чередованием в разрезе пород различного состава и наличием многочисленных водоносных горизонтов, способствуют возникновению в пределах грунтового массива негативных геодинамических процессов. Анализ картографического материала, подтвержденный маршрутными наблюдениями, позволил выделить четыре основных вида геодинамических проявлений, осложняющих работы по градостроительству. Если провести их ранжировку по времени, то получим следующую последовательность протекания экзогенных деформационных процессов: выветривание → плоскостной смыв → овражная эрозия → оползни. Процессы выветривания развиты практически повсеместно на поверхности купола и склонов

эрозионно-денудационного останца Услонского массива. На купольной части с ними связано формирование толщи элювиальных отложений, на склонах – формирование повышенной трещиноватости. При выветривании выходящих на поверхность карбонатных пород мощность элювиального слоя не превышает 0,5 м. Он представлен преимущественно светло-серым щебнисто-дресвяным материалом. При выветривании мергелей и глин толщина элювиального слоя может достигать до 2,0 м. При этом в нем хорошо прослеживается зональность, обусловленная различной интенсивностью дезинтеграции пород. В подошве залегают щебнистый слой, выше – слой дресвы, цементированный тонкодисперсной глиной, еще выше – слой слабосвязанного рыхлого глинистого грунта. Выветривание песчаников и алевролитов протекает с выносом из пород кальцитового цемента. Это приводит к увеличению пористости и проницаемости обломочных грунтов, потери их прочности, развитию суффозионного выноса тонкодисперсных частиц из порового пространства. В результате выветривания изначально плотные терригенные породы преобразуются в разуплотненные водоносные горизонты. Таким образом, независимо от минерального состава, структурных особенностей и плотности сложения, во всех коренных породах пермского возраста под влиянием гипергенных процессов разрушаются первичные структурные связи, что приводит к потере монолитности грунтов в массиве, повышению их обводненности, ухудшению физико-механических свойств.

Выветрелые породы из верхней части элювиального слоя подвергаются процессам плоскостного смыва. Текучие воды атмосферных осадков подхватывают тонкодисперсный материал и переносят его вниз по склонам. За счет этого из элювия купольной части эрозионно-денудационного останца выносятся минеральные частички глинисто-алевритовой размерности, заполняющие пространство между карбонатной дресвой. Происходит разуплотнение крупнообломочных грунтов, снижается их прочность, увеличивается степень дренированности. Воды атмосферных осадков получают возможность проникать по системам вертикальных трещин в ниже залегающие слои осадочных пород, создавая и пополняя горизонты межпластовых подземных вод в верхней и средней частях грунтового массива. Влекомые временными водными потоками тонкодисперсные минеральные ча-

стицы переносятся в сторону пониженных участков, где они и осаждаются, образуя делювиальные отложения. С одной стороны, делювиальные покровы сглаживают и выравнивают рельеф местности, с другой – образуют толщи глинистых грунтов с худшими строительными свойствами за счет повышенной пористости и слабых структурных связей между минеральными зернами. Делювиальные толщи в большинстве своем подвержены просадочным явлениям, в их подошве часто формируются локальные водоносные горизонты. При благоприятных условиях в делювиальных отложениях могут активизироваться оползневые процессы.

Помимо аккумуляции терригенного материала на склонах активно протекает линейная эрозия, результатом деятельности которой является образование оврагов. Овражная сеть покрывает все склоны останца, образуя глубокие радиальные промоины, отходящие от выположенной вершины в сторону речных долин. Наиболее развитые овраги приурочены к западному склону эрозионно-денудационного останца. Протяженность их тальвегов доходит до 4,0 км, длина боковых отвершков – до 0,5 км, устье выходит в долину реки Свияга. В верхней части овраги представляют собой узкие каньонообразные врезы, в нижней – имеют корытообразный поперечный профиль. На восточном склоне грунтового массива овражная эрозия менее развита. Здесь проходит один основной овраг по направлению с юга на север, протяженностью 5,5 км. По сути, он является границей восточной окраины грунтового массива, отведенного под строительство г. Иннополис. Овраг характеризуется спрямленным тальвегом, перепад высот между вершиной и устьем составляет 127,0 м. По дну оврага протекает ручей Морквашинка, усиливающий донную эрозию. Устье оврага выходит в долину реки Волга. На северном склоне грунтового массива процессы оврагообразования находятся на начальной стадии. Длина промоин не превышает 0,5 км. Преобладает донная эрозия, за счет чего овраги характеризуются наличием крутых боковых стенок и преобладанием V-образного поперечного профиля. Дно оврагов каменистое, без отложений терригенного материала, устья висячие. Пораженность территории градостроительной деятельности составляет около 26%. При планировке отдельных участков строительства овраги частично были засыпаны техногенными грунтами. Однако в настоящее

время по ним вновь развиваются процессы современной овражной эрозии [8].

Склоновые части грунтового массива, помимо овражной эрозии, подвержены и оползневым процессам. Оползни приурочены к участкам выходов на поверхность подземных вод, часто осложняют борта оврагов. Оползневые тела приурочены преимущественно к покровным четвертичным элювиально-делювиальным отложениям, залегающим на коренных породах пермского возраста. Изредка отмечаются сплывы в глинистых грунтах северодвинского яруса. Согласно полевым исследованиям, на территории градостроительства выделяется два типа оползневых деформаций. Наиболее распространены асеквентные и консеквентные оползни с круглоцилиндрической поверхностью скольжения. Тело оползней представлено делювиальными суглинками, обводненными в нижней части, ложем служит наклонная поверхность пород пермского возраста. Оползневые тела осложняют инженерно-геологические условия площадок изыскания, создают предпосылки для активизации склоновых деформаций верхней части грунтового массива при увлажнении. При проектировании инженерных объектов на склонах и возле бортов оврагов следует прогнозировать возможные изменения геологической среды в процессе эксплуатации зданий и сооружений.

### Заключение

Проведенные полевые исследования площадки градостроительства показали, что грунтовый массив характеризуется неоднородным строением. В его основании залегают скальные грунты средне-верхнепермской системы, с поверхности перекрыты дисперсными грунтами четвертичного возраста. По степени сплошности скальный массив относится к среднетрещиноватым, по преобладанию размеров блоков отдельностей – к крупноглыбовым, в отдельных слоях мергелей и глин – к мелкоглыбовым и щебневым [9]. На всю глубину массив сечется субвертикальными протяженными открытыми трещинами, обуславливающими фильтрацию вод атмосферных осадков. Встречая на пути более плотные породы, инфильтрационные воды формируют водоносные горизонты, которые образуют три водоносных комплекса: водоносный локально водоупорный неогеново-четвертичный терригенный комплекс (N-aQ), слабоводоносный котельничский

карбонатно-терригенный комплекс ( $P_3kt$ ) и слабодоносный локально водоносный уржумский карбонатно-терригенный комплекс ( $P_2ur$ ). По совокупности геологических и гидрогеологических факторов территория грунтового массива, отведенная под строительство г. Иннополис, имеет III категорию сложности [10]. Это обусловлено, с одной стороны, наличием в зоне взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой более четырех слоев различных по составу и свойствам грунтов, с другой – чередованием в разрезах плотных и водонасыщенных слоев, с третьей – широким распространением негативных геодинамических процессов, оказывающих влияние на выбор проектных решений при строительстве.

#### Список литературы

1. Бабюх В.А., Кайсарова Ж.Е. Понятие «город» и типологизация городов: проблемы соотношения при определении даты возникновения городских поселений // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 20. С. 417–422.
2. Коломак Е.А. Почему возникают и растут города? Объяснения теоретических и эмпирических исследований // Пространственная экономика. 2018. № 2. С. 134–153.
3. Ишкинеева Ф.Ф., Озерова К.А., Ишкинеева Г.Ф. Образ «умного города» Иннополис: концепты и повседневность // Вестник Института социологии. 2021. Т. 12, № 2. С. 143–157.
4. Шеина С.Г., Белаш В.В., Каменцев В.Ю., Мазин П.О., Ларин Н.С. Особенности инженерно-геологических изысканий для строительства в условиях плотной городской застройки // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3. [Электронный ресурс]. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7580](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7580) (дата обращения: 30.12.2024).
5. Леонтович В.В. Вертикальная планировка городских территорий: учеб. пособие для студентов вузов по спец. «Городское строительство». М.: Высш. шк., 1985. 119 с.
6. Латыпов А.И., Жаркова Н.И. Оценка оползневой опасности на территории строящегося города Иннополис (Татарстан) для организации системы геодинамического мониторинга // Инженерные изыскания. 2013. № 10–11. С. 56–59.
7. Государственная гидрогеологическая карта России масштаба 1:200000. Средневожская серия. Сводная легенда / Под ред. Р.К. Шахновой. Дзержинск, 1993.
8. Салихова Э.Н., Королёв А.Э., Королёв Э.А. Современная овражная эрозия в насыпных грунтах строящегося города Иннополис // Геология в развивающемся мире: сборник научных трудов по материалам XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Пермь, ПГНИУ, 13–14 апреля 2023 г.) / Отв. ред. Н.В. Кулакова. Пермь, 2023. С. 369–373.
9. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. Межгосударственный стандарт. М., 2020. 41 с.
10. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. 112 с.

## СТАТЬЯ

УДК 528.063.1

DOI 10.17513/use.38219

**АНАЛИЗ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ  
ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ ВЫДЕЛЕННЫХ  
ИЗ ОБЩЕДОЛЕВОЙ СОБСТВЕННОСТИ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ****Головко А.Н.**

*Азово-Черноморский инженерный институт  
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»,  
Зерноград, e-mail: alexnikgol@rambler.ru*

Для цели исследования, освещенной в данной статье, определены возможности представленных на рынке компьютерных программных продуктов для их использования в процессе осуществления геодезических расчетов, необходимых при совершении процедуры выдела земельных участков из общей доли собственности. Для достижения цели исследования в процессе отбора данных были выбраны и применены методы исследования, необходимые задачи, решение которых поможет достичь поставленной цели. Для определения перечня необходимых для создания межевого плана геодезических вычислений был выбран и применен метод синтеза. Отобраны основные возможные геодезические расчеты и вычисления, которые могут встретиться при создании проекта межевого плана на этапе камеральных работ при проведении изысканий. Следующим этапом были выявлены с помощью метода системного анализа программные продукты, не присутствующие в настоящее время на отечественном рынке программных продуктов, по причине введения против нашей страны санкций. Метод системного анализа работает по определенным условиям отбора, которые сформированы для достижения цели исследования по оставшимся на отечественном рынке специализированным программным продуктам. Определенные целью исследования условия позволили провести анализ российского программного рынка и отобрать оптимальные по ценовым параметрам и набору необходимых для вычислений инструментов, а также наличие программной поддержки на территории Российской Федерации программные продукты, которые продолжили участие в дальнейшем анализе по поставленным целью исследования задачам. Анализ отобранных программ был произведен по функциональной структуре и способу их установки до полной работоспособности, а также по наличию необходимых инструментов для решения искомых задач и универсальности использования для других целей и задач не связанных с целью и задачами настоящего исследования. В итоге по результатам применения метода анализа получен необходимый перечень специализированных программ, способных решить задачи исследования.

**Ключевые слова:** программные продукты, проект межевания, геодезические вычисления, выдел из общей доли, камеральные работы, площадь участка

**ANALYSIS OF SPECIALIZED SOFTWARE PRODUCTS  
FOR GEODETIC CONSTRUCTIONS OF LAND PLOTS  
ALLOCATED FROM COMMON SALT PROPERTY****Golovko A.N.**

*Azov-Black Sea Engineering Institute of the Don State Agrarian University,  
Zernograd, e-mail: alexnikgol@rambler.ru*

For the purpose of the study covered in this article, the possibilities of computer software products on the market for their use in the process of performing geodetic calculations required when performing the procedure for allocating land plots from the total share of property are determined. To achieve the goal of the study, during the data selection process, research methods were selected and applied, the necessary tasks, the solution of which will help to achieve the goal. To determine the list of geodetic calculations necessary for creating a boundary plan, a synthesis method was selected and applied. The main possible geodetic calculations and calculations that can be encountered when creating a draft boundary plan at the stage of office work during surveys have been selected. The next stage was identified using the method of systematic analysis of software products that are not currently present in the domestic software market due to the imposition of sanctions against our country. The system analysis method works according to certain selection conditions, which are formed to achieve the research goal for specialized software products remaining on the domestic market. The conditions determined by the purpose of the study made it possible to analyze the Russian software market and select the optimal tools for the price parameters and a set of tools necessary for computing, as well as the availability of software support in the Russian Federation, which continued to participate in further analysis on the tasks set for the study. The analysis of the selected programs was carried out according to the functional structure and method of their installation until full operability, as well as the availability of the necessary tools for solving the desired tasks and the versatility of use for other purposes and tasks not related to the purpose and objectives of this study. As a result, based on the results of the analysis method, the necessary list of specialized programs capable of solving research problems was obtained.

**Keywords:** software products, land surveying project, geodetic calculations, division from the total share, office work, site area

Расширение малого бизнеса и конкурентоспособности современного сельского хозяйства во многом зависит от количества участников рынка. Земля является главным ресурсом для сельского хозяйства. Многие сельхозпроизводители начинают свою деятельность с выделения и объединения земельных участков из общедолевой собственности. Эта процедура определяет основные этапы, которые должен выполнить собственник участка. Одним из этапов является разработка межевого плана образуемого участка. Для выполнения этой задачи кадастровому инженеру приходится выполнять определенный комплекс геодезических задач, быстроту и перечень которых обеспечивает используемое в работе программное обеспечение. Немаловажны также стоимость, наличие определенного перечня инструментов и возможность для расширения возможностей используемого программного продукта.

Данное исследование направлено на анализ использования представленных на рынке компьютерных продуктов для геодезических вычислений, необходимых в обработке данных при выделении из общедолевой собственности земельных участков сельскохозяйственного назначения.

#### **Материалы и методы исследования**

Исследование проводилось при использовании таких методов, как метод системного синтеза, а также системного анализа. Метод системного анализа направлен на выявление таких программных продуктов, которые обладают необходимыми аппаратными возможностями, область которых охватывает задачи данного исследования. Метод системного синтеза позволяет выполнить отбор из предложенных в результате предыдущего метода программных продуктов тех, область возможностей которых максимально перекрывает область задач данного исследования, а также позволяет определить ценовые рамки использования отобранных программных продуктов.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Для того чтобы выделить из общей доли земельный участок одного собственника для ведения им на этом участке индивидуальной деятельности, необходимо пройти следующие этапы:

1. На первом этапе выполняется разработка проекта межевания в соответствии с Порядком образования земельных участков

путем выдела в счет земельной доли или земельных долей регламентирован Федеральным Законом от 24.07.2002 г. [1] № 101-ФЗ (Закон об обороте) [2].

Проект межевания необходимо выполнить, руководствуясь Приказом Минэкономразвития РФ от 03.08.2011 № 388 [1].

2. На этапе 2 выполняется согласование проекта межевания земельного участка со всеми участниками долевой собственности [1], из которой он будет выделяться. Для этого все участники общедолевой собственности должны с ним ознакомиться. Участники общедолевой собственности, из которой выделяется участок, должны согласовать его размер и конкретное положение границ нашего выделяемого земельного участка.

Для получения согласия всеми собственниками на выдел участка всем собственникам направляются письма, в которых сообщается о необходимости ознакомления и получения согласия на утверждение проекта межевания выделяемого земельного участка, можно также разместить уведомление о назначении собрания собственников общедолевого имущества в источниках массовой информации [3], которые прописаны для этих целей субъектом РФ.

После согласования всеми участниками долевой собственности проекта межевания кадастровый инженер дает заключение об отсутствии возражений относительно размера и местоположения границ выделяемого земельного участка. После этой процедуры согласование собственником выделения земельных долей (пая) или земельной доли считается выполненным. Далее происходит утверждение проекта межевания [1] земельного участка [4].

3. На этапе 3 производится разработка межевого плана. Специалистами проводятся необходимые для этого этапа кадастровые работы и изготавливается межевой план, который предоставляется в орган регистрации прав вместе с заявлением будущего хозяина участка и остальными требуемыми документами, необходимыми для осуществления факта постановки на кадастровый учет и завершения государственной регистрации прав собственника. При появлении законных возражений от других участников общедолевой собственности, ведущему это кадастровое дело специалисту необходимо провести работу по снятию замечаний, указанных в возражениях. После осуществления всех перечисленных выше действий выполняется разработка

межевого плана. После этого этапа работу кадастрового инженера можно считать выполненной.

До начала подготовки проекта плана земельного участка кадастровому инженеру необходимо согласовать предполагаемые границы и предполагаемое местоположение проектируемого участка с участниками долевого имущества. Для этого необходимо ориентироваться на требуемую площадь участка с возможным изменением точек его контура. Обеспечить такие операции по построению и расчету площади и точек контура поможет специализированный программный продукт, который позволит облегчить работу кадастрового инженера, а также сэкономить производственные и временные ресурсы.

Чтобы определить программные продукты, максимально обеспеченные соответствующим инструментарием, необходимым для решения задач данного исследова-

ния, был выполнен анализ представленных на отечественном рынке специализированных программных продуктов, в том числе по ценовым категориям. Обозначенный для решения задач данного исследования список геодезических вычислений [5, с. 17; 6, с. 130; 7], необходимых для достижения цели исследования и используемых при разработке проекта выдела участка из общедолевого имущества, представлен в табл. 1.

Для анализа были определены специализированные программы, анализ которых производился по таким критериям, как способ установки и модульность, а также системность обработки материалов полевых работ. По этим критериям анализируемые программы распределены на четыре основные группы: программные комплексы, отдельные модули, объединенные программным комплексом, узкоспециализированные программы и подпрограммы для систем обработки данных [8, с. 85].

Таблица 1

Список используемых в геодезических расчетах вычислений при разработке проекта межевого плана

№ п/п	Геодезическое вычисление	Конечная цель использования
1	Вычисление и корректировка площади по известным координатам	Пересчет координат из одной системы в другую при неизвестных параметрах перехода
2	Прямая геодезическая задача	Определение по известным координатам одной точки горизонтального проложения и дирекционного угла координат другой точки
3	Обратная геодезическая задача	Определение по известным координатам двух точек величины горизонтального проложения и дирекционного угла
4	Вычисление координат из обратной засечки (задача Ганзена)	Определение положения двух пунктов по двум исходным
5	Теодолитный ход	Вычисление координат точек теодолитного хода
6	«Висячий» теодолитный ход	Вычисление координат точек разомкнутого теодолитного хода
7	Вычисление площади замкнутой фигуры по координатам углов	Вычисление площади фигуры по координатам основных точек контура
8	Определение координат точек перпендикулярами от створной линии	Определение координат заданных точек по расстоянию перпендикуляра к точке от створной линии
9	Вычисление параметров цепочки точек по координатам	Определение расстояний и углов между точками цепочки по известным координатам
10	Уравнивание одиночного нивелирного хода	Уравнивание отметок превышений одиночного нивелирного хода
11	Параметры выноса на местность координатных точек	Расчет основных параметров выноса на местность заданных координатных точек
12	Уравнивание теодолитного хода с координатной привязкой	Расчет параметров для уравнивания точек теодолитного хода с координатной привязкой
13	Уравнивание координатного хода с координатной привязкой	Уравнивание вытянутого тахеометрического координатного хода

Таблица 2

Результаты анализа программных продуктов по критериям оценки

Название программного продукта	Структура программного продукта и способ установки	Решаемые задачи	Возможность расширения и использования для других геодезических задач
ГИС «Панорама» набор модулей «Комплекс геодезических расчетов», «АРМ кадастрового инженера»	Программный модуль	Все перечисленные	есть
«Топоматик Robur – Изыскания»	Программный модуль	7, 10–13	есть
GeoniCS Изыскания (RGS, RgsPl)	Узкоспециализированная программа	Все перечисленные	нет
ТИМ КРЕДО ДАТ	Программный модуль	2, 3, 5, 7–13	Нет
Модуль «ТехноКад-Экспресс Межевой план»	Программный модуль	7, 10–13	Есть
Модуль «ТехноКад-Экспресс Профессиональный»	Программный модуль	Все перечисленные	Есть
PlanTracer Межевой план	Узкоспециализированная программа	2, 3, 5, 7–13	нет
Полигон Про: Межевой план.	Узкоспециализированная программа	1, 7, 11	нет
ГИС «Аксиома»	Узкоспециализированная программа	4–13	есть

Наличие широкого инструментария в программах предоставляет возможности для быстрого и оптимального создания плана земельного участка определенной техническими условиями площади и конфигурации, обеспечивая привязку контурных точек. Результаты анализа предлагаемого на отечественном программном рынке программно-обеспечения, которое содержит необходимые инструменты для геодезических расчетов, необходимых при разработке плана участка задачи, обозначены в табл. 2. В ней представлены программные продукты всех перечисленных типов, распределенные согласно определенным ранее критериям отбора, способные обеспечить решение задач данного исследования по разработке плана участка [9]. В данном анализе рассмотрены платные программные продукты, отвечающие всем требованиям и имеющие лицензию и техподдержку, представленные на отечественном рынке. К сожалению, некоторые из ранее популярных программных продуктов, использующиеся до недавнего времени в кругах специалистов, в анализ не включены по причине прекращения их продажи или поддержки производителем в связи с введенными против Российской Федерации санкциями, а также отсутствием лицензии.

К таким программным продуктам относятся: Geozem – программа для специ-

алистов, работающих в сфере земельного кадастра, обработка межевания и выдача документов для межевого дела; ТОРАЗ – топографический пакет землеустроителей; АРГО х.х – данный пакет программ предназначен для подготовки межевого плана; САМАРА – Система автоматизации камеральных маркшейдерско-геологических работ; К-MINE – геоинформационная система обработки графических данных; ТОГИ vx.x – комплексный программный пакет по геодезии, землеустройству, топографии для разработки картографических изображений различного типа и проекций [10, 11].

Некоторые программные модули функционируют только под общей программной системной оболочкой, которая в некоторых случаях входит в стоимость модуля. ТИМ КРЕДО ДАТ – это система, которая разработана для автоматизации камеральной обработки полевых инженерно-геодезических данных и измерений, выполненных с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и цифровых нивелиров (ЦН), а также [12] обработки стандартных полевых измерений электронными приборами. Данная система позволяет решить все поставленные задачи кроме трех (1, 4, 6, табл. 1). Стоимость данного программного продукта [13] существенно ограничивает его использование только для



таких узких задач и целесообразна в многопрофильных проектно-исследовательских организациях.

Система ГИС «Панорама» представлена на отечественном рынке разработчиком – АО Конструкторское бюро «Панорама» несколькими программными модулями, способными выполнить поставленные для достижения цели исследования задачи. Система состоит из оболочки, представляющей собой универсальную геоинформационную систему, к которой устанавливаются узкоспециализированные профессиональные модули. Для решения поставленных задач в составе ГИС «Панорама» может быть использован модуль, включающий в свой состав инструменты для выполнения всех поставленных задач [14]. Этот модуль «Комплекс геодезических расчетов» входит в состав набора модулей «Межевой план» и «АРМ кадастрового инженера». Модуль имеет широкий спектр инструментов для выполнения геодезических расчетов, однако стоимость системы колеблется от 115 до 120 тыс. руб., а дополнительных модулей – от 5 до 20 тыс. руб., в зависимости от их функционального назначения [15].

Отечественные разработки также представлены линейкой продуктов компании ООО «ТехноКад» [13]. Для решения поставленных задач в этой линейке нужно обратить внимание на два блока системы: блок «ТехноКад-Экспресс Межевой план», а также блок «ТехноКад-Экспресс Профессиональный». В блоке «ТехноКад-Экспресс Межевой план» можно выполнять оформление в том числе межевых планов по основным типам кадастровых работ, оформить все основные части проекта межевания земельного участка, построить карту или план для различных объектов землеустройства, а также инструментов для формирования пакета приложений к основным документам, которые нужны при сдаче пакета документов для постановки объектов недвижимости на кадастровый учет. Несмотря на перечисленные возможности, этот модуль весьма ограничен по функциям расчета геодезических задач, поэтому не удовлетворяет требованиям по проведению некоторых расчетов, выполнение которых необходимо для достижения цели исследования. Модуль «ТехноКад-Экспресс Профессиональный» является более расширенной версией и включает дополнительные функции для создания проекта межевания земельного участка и дополнительные

пакеты функций для формирования межевого дела.

Широкое распространение среди специалистов инженерно-геодезических изысканий в последние годы получил такой программный продукт, как GeoniCS Изыскания. Однако GeoniCS Изыскания работает на базе платформ AutoCAD Civil 3D, AutoCAD Map 3D, AutoCAD, ZWCAD, которые в связи с санкциями на данный момент не имеют сопровождения. Это обстоятельство затрудняет использование данного программного продукта и вносит определенные ограничения для пользователей, не работающих на данных платформах, а также ведет к удорожанию затрат на использование продукта.

Результаты анализа показали, что, несмотря на разнообразие представленных на российском рынке продуктов, многие из них имеют узкую функциональную направленность решения геодезических задач и не все включают инструменты для решения всех поставленных в данном исследовании задач.

### Заключение

На основе анализа, проведенного в данном исследовании, определен перечень программных продуктов, имеющих инструменты для выполнения геодезических вычислений при выделе земельных участков из общедолевой собственности. Выделено три программных продукта: ГИС «Панорама» набор модулей «Межевой план», GeoniCS Изыскания и Модуль «ТехноКад-Экспресс Профессиональный». Все перечисленные программные продукты имеют инструменты для решения круга возможных задач, обозначенных в данном исследовании, которые возникают при разработке межевого плана при выделе земельных участков из общедолевой собственности. Наиболее оптимальным программным продуктом является модуль «ТехноКад-Экспресс Профессиональный», который при всех перечисленных условиях не имеет ограничений при использовании и обладает наименьшей стоимостью. Модуль «Межевой план», GeoniCS Изыскания может использоваться только в тех организациях, где используют платформы AutoCAD Civil 3D, AutoCAD Map 3D, AutoCAD, ZWCAD. ГИС «Панорама» имеет значительную стоимость и целесообразна для использования при подключении нескольких модулей, решающих функциональные задачи предприятия.

## Список литературы

1. Решение Петровского районного суда Ставропольского края от 10 августа 2016 года по делу № 2-800/2016 [Электронный ресурс]. URL: <http://arbitr.garant.ru/#/document/143486268>. (дата обращения: 06.12.2023).
2. Решение Чернушинского районного суда Пермского края от 26 марта 2021 года по делу № 2-120/2021 [Электронный ресурс]. URL: <http://arbitr.garant.ru/#/document/320309037> (дата обращения: 06.12.2023).
3. Майборода В.А. Комментарий к Федеральному закону от 24 июля 2002 года № 101-ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» [Электронный ресурс]. URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/77604022> (дата обращения: 06.12.2023).
4. Решение Омского районного суда Омской области от 15 августа 2022 года по делу № 2-1792/2022 [Электронный ресурс]. URL: <http://arbitr.garant.ru/#/document/329511039> (дата обращения: 06.12.2023).
5. Глухих М.А. Землеустройство с основами геодезии. Практикум: учебное пособие для ВО. М.: Лань, 2020. 136 с.
6. Кузнецов О.Ф. Инженерная геодезия. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 268 с.
7. Медведев П.А. Совершенствование формул со средними аргументами для решения обратной геодезической задачи // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2014. № 1 (13). С. 46–48.
8. Варфоломеев А.Ф. Обработка геодезических данных с использованием современных программных продуктов: учебное пособие. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2017. 89 с.
9. Пухаев Л.А., Кочнев Г.К. Современные инструменты, технологии и программное обеспечение в инженерной геодезии // Вестник науки и образования. 2022. № 4–2 (124). С. 18–23.
10. Геодезист [Электронный ресурс]. URL: <https://store.softline.ru/> (дата обращения: 06.01.2023).
11. Geostart. Геодезические программы [Электронный ресурс]. URL: <https://geostart.ru/post/57#hq2=undefined> (дата обращения: 06.12.2023).
12. Письмо Министра России от 05.03.2022 № 8975-КМ/16 «О направлении Перечня отечественного программного обеспечения, используемого на этапах жизненного цикла объектов капитального строительства, как альтернативы зарубежному программному обеспечению» [Электронный ресурс]. URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/403722712> (дата обращения: 06.12.2023).
13. Программные продукты и технологии КРЕДО. [Электронный ресурс]. URL: <https://credo-dialogue.ru/produkty/korobochnye-produkty/239-credo-dat-professional-naznachenie.html>. (дата обращения: 06.12.2023).
14. ГИС «Панорама» Страница продукта. [Электронный ресурс]. <https://gisinfo.ru/price/price.htm>. (дата обращения: 06.12.2023).
15. «ТехноКад-Экспресс Профессиональный». Страница стоимости продуктов [Электронный ресурс]. URL: <https://www.technokad.ru/express/lookup/price> (дата обращения: 11.12.2023).

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 633.18:664.7

DOI 10.17513/use.38220

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА КОРИЧНЕВОГО РИСА**

<sup>1</sup>Салиева З.Т., <sup>2</sup>Боркоев Б.М., <sup>2</sup>Салиева К.Т.

<sup>1</sup>Кыргызский государственный технический университет имени И. Раззакова,  
Бишкек, e-mail: zsalieva@list.ru;

<sup>2</sup>Кыргызско-Турецкий университет «Манас», Бишкек,  
e-mail: kalipa.salieva@manas.edu.kg, bakyt.borkoev@manas.edu.kg;

Данное исследование представляет собой обзор литературы по химическому составу и свойствам коричневого риса. Коричневый рис можно охарактеризовать как очищенный от шелухи цельнозерновой рис с отрубями и зародышами. В статье приведены сведения о химическом составе коричневого риса, такие как углеводы, крахмалы, белки, жиры, витамины и минеральные вещества. Обобщены экспериментальные данные по составу некоторых биологически активных веществ, а также индивидуальных соединений из данного вида растительного сырья. Приведено содержание свободных, связанных и общих фенольных соединений, флавоноидов, антирадикальная способность и антиоксидантные свойства коричневого риса, произрастающего в разных странах и климатических условиях. Разнообразие состава и свойств коричневого риса может быть связано с различиями в генетическом составе, сорте, а также климатических и почвенных условиях зерна во время развития. Данные этого обзорного исследования были собраны из книг и научных статей, опубликованных в таких базах данных, как Science Direct, Web of Science, Scopus, Wiley, PubMed, Google Scholar и база данных научной информации. Для обзора литературы использовались оригинальные ресурсы на английском языке.

**Ключевые слова:** коричневый рис, углеводы, крахмалы, белки, жиры, витамины, антиоксиданты

**CHEMICAL COMPOSITION AND PROPERTIES OF BROWN RICE**

<sup>1</sup>Salieva Z.T., <sup>2</sup>Borkoev B.M., <sup>2</sup>Salieva K.T.

<sup>1</sup>Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, e-mail: zsalieva@list.ru;

<sup>2</sup>Kyrgyz-Turkish Manas University, Bishkek,  
e-mail: kalipa.salieva@manas.edu.kg, bakyt.borkoev@manas.edu.kg;

This study is a literature review on the chemical composition and properties of brown rice. Brown rice can be described as hulled whole-grain rice with bran and germ. The article provides information about the chemical composition of brown rice, such as carbohydrates, starches, proteins, fats, vitamins, and minerals. Experimental data on the composition of some biologically active substances, as well as individual compounds from this type of plant material, are summarized. The contents of free, bound and total phenolic compounds, flavonoids, antiradical ability, and antioxidant properties of brown rice grown in different countries and climatic conditions are given. The diversity in the composition and properties of brown rice may be due to differences in genetic composition, variety, and the climatic and soil conditions of the grain during development. Data from this review study were collected from books and scientific articles published in databases such as Science Direct, Web of Science, Scopus, Wiley, PubMed, Google Scholar, and the Scientific Information Database. For the literature review, we used original resources in English.

**Keywords:** brown rice, carbohydrates, starches, proteins, fats, vitamins, antioxidants

Рис, одна из старейших продовольственных культур, является основным продуктом питания примерно половины населения мира. Большая часть риса производится в азиатских странах, в основном в Китае, Индии, Индонезии, Вьетнаме, Таиланде и т.д. [1]. Рис (*Oryza sativa* L.) играет важную роль как в продовольственной безопасности, так и в местной традиционной кухне в Центральной Азии и Кыргызстана [2, 3].

Рис является хорошим источником легкоусвояемого крахмала и белка хорошего качества благодаря высокому содержанию лизина, по сравнению с другими злаками. Рис в целом виде является хорошим ис-

точником витаминов и минералов. Однако рис обычно едят в измельченном виде, при этом шелуха, а также отруби удаляются во время измельчения. Таким образом, коричневый рис можно охарактеризовать как очищенный от шелухи цельнозерновой рис с отрубями и зародышами. Поскольку он содержит отруби и зародыши, считается, что по питательности он превосходит измельченный рис; это единственная форма зерна, которая содержит витамин Е и снижает уровень холестерина [4]. Коричневый рис имеет мягкий ореховый привкус, но из-за присутствия отрубей и зародышей проявляет прогорклый привкус разложенного жира.



Фотографии: а) рис-сырец, б) коричневый рис, с) шлифованный рис

В некоторых странах молотый рис обогащен тиамином, ниацином и необходимыми минералами для обогащения зерна. Однако во многих странах, где рис является основным рационом питания, обогащение не является обычной практикой. Принимая во внимание пищевой статус, диета, содержащая коричневый рис, лучше, чем диета из молотого риса [5].

Фотографии риса-сырца (грубый рис), коричневого риса и измельченного (шлифованного) риса представлены на рисунке. Коричневый рис имеет тускло-коричневый или светло-желтый цвет по сравнению с соответствующим полированным рисом.

Срок годности коричневого риса составляет около 6 месяцев при температуре окружающей среды, но его можно продлить за счет герметичного хранения или охлаждения. Питательные ценности, биологическая активность, их механизм действия, а также польза для здоровья зависят от химических составов, фитохимических свойств пищевых продуктов, а также их сохранения [6]. Учитывая вышеуказанные факторы, были разработаны некоторые продукты на основе коричневого риса, имеющие хорошие возможности для коммерческого использования. Это продукты, включающие расширенный коричневый рис, вспученный рис, хлопья, чипсы, вермишель, семолину быстрого приготовления из коричневого риса и т.д. Таким образом, наблюдается растущая склонность к потреблению коричневого риса вместо белого риса.

#### *Химический состав коричневого риса*

Химический состав коричневого риса широко варьируется в зависимости от сорта и их генетических особенностей, почвы, климатических условий во время развития рисового зерна и окружающей среды. Коричневый рис состоит из слоев отрубей

(6–7%), зародыша (2–3%) и эндосперма (около 90%). Коричневый рис содержит 2,4–3,9% жира, 1,5–2,1% золы, 0,8–2,6% клетчатки и 7,3–15,4% белка; энергосодержание составляет 1520–1610 кДж/100 г, а объемная плотность его – 676–683 кг/м<sup>3</sup> [7, 8]. Коричневый рис имеет тускло-коричневый или светло-желтый цвет по сравнению с соответствующим полированным рисом (рисунок).

Крахмал является основным компонентом риса, тогда как других компонентов, таких как белок, жир, зола, клетчатка и лигнин, больше в коричневом рисе, чем в молотом. В дополнение к этому также присутствуют свободные сахара, свободные аминокислоты и ароматические соединения, которые в большей степени сконцентрированы во фракции отрубей в зернах риса. Коричневый рис также является богатым источником витаминов, минералов и редких аминокислот. В процессе измельчения от коричневого риса до белого риса потери белков и общих минералов достигают 28,6 и 84,7% соответственно [9].

Коричневый рис сохраняет слой отрубей (содержащий много витаминов и минералов, а также волокна), так как он не был отполирован для получения белого риса. Красный рис богат железом и цинком, а черный и фиолетовый рис особенно богаты белком, жирами и сырой клетчаткой. Красный, черный и фиолетовый рис получают свой цвет от антоциана, пигменты которого, как известно, обладают способностью улавливать свободные радикалы и антиоксидантами, а также обладают другими преимуществами для здоровья [10, 11].

*Углеводы* – главный компонент любого зерна злаков. Слои отрубей коричневого риса содержат максимальное содержание гемицеллюлозы (около 1,4–2,1% пентозанов), из которых 43% распределены в сло-

ях отрубей и 8% – в зародышах. Водорастворимые гемицеллюлозы отрубей имеют соотношение арабиноза/ксилоза 1,8. Слой отрубей также содержит некоторое количество галактозы и белка, тогда как щелочнорастворимые гемицеллюлозы содержат около 37% арабинозы, 34% ксилозы и 11% галактозы с небольшим количеством глюкозы вместе с белком и уроновой кислотой. Коричневый рис также содержит большое количество целлюлозы, около 62% в отрубях из-за наличия семенной оболочки, алейронового слоя и толстых клеточных стенок околосемянника [12].

*Крахмал.* Несмотря на то, что коричневый рис содержит значительное количество функциональных и пищевых компонентов, которые сконцентрированы в слое отрубей, он также содержит большое количество крахмала, что влияет на его физико-химические свойства. Рисовый крахмал содержит компоненты амилозы и амилопектина со связями  $\alpha$  1–4,  $\alpha$  1–4 и  $\alpha$  1–6 соответственно, процентное содержание которых варьируется между разновидностями.

Амилопектин составляет 25–50% по количеству и 30–60% по массе амилозы. Средство к йоду амилозы из риса составляет 20–21% по массе, тогда как для амилопектина оно составляет 0,4–0,9% для риса с низким и средним содержанием амилозы, тогда как для риса с высоким содержанием амилозы оно составляет 2–3%. По степени поглощения крахмала рис классифицируется как восковидный (1–2%), с очень низким содержанием амилозы (2–12%), низким содержанием амилозы (12–20%), промежуточной амилозой (20–25%) и рис с высоким содержанием амилозы (25–33%). Восковидный эндосперм непрозрачен из-за наличия воздушных пространств среди гранул крахмала, которые имеют более низкую плотность, чем невосковые гранулы. Вискоамилографические характеристики восковидной и невосковой рисовой муки показывают, что восковидный рис имеет более низкую вязкость, чем невосковая рисовая мука, возможно, из-за присутствия некрахмальных компонентов, в основном нерастворимых в воде рисовых белков в восковидном рисе, которые препятствуют набуханию гранул крахмала [13, 14]. Амилоза и амилопектин являются основными составляющими, влияющими на физико-химические свойства рисового крахмала, и их роль в свойствах рисового крахмала широко исследовалась [15]. Обычный рисовый крахмал имеет соотношение амилоза/амилопектин около 20:80.

Амилоза контролирует почти все свойства рисового крахмала из-за ее влияния на термические свойства, пастообразные свойства, синерезис, растворимость, набухание и другие техно-функциональные свойства. Воскообразные рисовые крахмалы обладают высокой растворимостью и способностью к набуханию, а также большей степенью кристалличности, чем невосковидные крахмалы. Однако у невосковидных рисовых крахмалов наблюдается более высокая температура клейстеризации по сравнению с восковыми крахмалами [16]. С промышленной точки зрения это практический подход к упрощению категоризации сортов риса с целью контроля качества риса.

*Некрахмальные полисахариды* состоят из водорастворимых полисахаридов и нерастворимых пищевых волокон, которые образуют комплексы с крахмалом и могут иметь гипохолестеринемический эффект. В коричневом рисе общее количество свободных сахаров составляет около 0,8–1,4%, из которых 0,1–0,13% составляют редуцирующие сахара, в основном в виде глюкозы и следовых количеств фруктозы. Коричневый рис содержит около 0,2% фитина или гексафосфата миоинозитола, важного компонента слоев отрубей. Рибонуклеиновая кислота является основной нуклеиновой кислотой в коричневом рисе и составляет около 0,2–0,3% белка молотого риса и 2–3% белка коричневого риса; дезоксирибонуклеиновая кислота составляет около 0,01% коричневого риса [17, 18].

*Белок* является вторым после крахмала компонентом в зернах риса. Белок содержится в коричневом рисе в различных количествах, в основном от 6,5 до 8,7%, из которых 14% распределено в отрубях и около 80% – в эндосперме. Содержание белка варьируется между сортами риса и линейно снижается с увеличением степени шлифовки, так как он в основном сконцентрирован в периферических слоях зерна. Белок наиболее распространен в субалеуроновых слоях рисового зерна. Кроме того, в алейроновых клетках также присутствуют небольшие количества. Белок риса более питателен из-за его относительно хорошо сбалансированного аминокислотного профиля и превосходит по содержанию лизина другие зерновые культуры. Фракции отрубей и зародышей коричневого риса содержат более высокие уровни лизина и более низкие уровни глутаминовой кислоты, чем крахмалистый эндосперм. И восковидный, и невосковой рис имеют сходный образец

распределения аминокислот. Коричневый рис и молотый рис имеют одинаковое содержание аминокислот в большинстве случаев; однако, в частности, содержание лизина изменяется отрицательно, а содержание тирозина и фенилаланина положительно зависит от общего содержания белка в образце коричневого риса [19].

Фракции растворимости белков неравномерно распределены во фракциях коричневого и измельченного риса. Белок риса – это в основном щелочнорастворимый белок глютелин (78–79%), растворимый в соли глобулин (10–11%) и водорастворимый альбумин (7–8%), причем растворимая в спирте фракция является наименьшей (3%). Содержание альбумина и глобулина в коричневом рисе выше, чем в молотом, так как они больше сконцентрированы в зародышевом и алейроновом слоях. Доля альбумина и глобулина в белке высока на периферии ядра, но постепенно уменьшается к центру, тогда как содержание глютелина распределяется обратно пропорционально. Распределение альбумина в отрубях составляет 51%, тогда как распределение глобулина составляет 40% в отрубях. Глобулин состоит из 43% глутаминовой кислоты и аргинина, 4–9% цистеина и 6,6% метионина. Проламин можно экстрагировать 70% этанолом с последующим осаждением ацетоном из этанольной экстракции. Содержание проламина составляет около 21% в отрубях, тогда как содержание глютелина в отрубях составляет только 5%. Глютелин имеет самый высокий молекулярный вес среди фракций рисового белка. Аспарагиновая и глутаминовая кислоты являются основными аминокислотами, присутствующими в глютелине. Фракции растворимого белка изменяются с увеличением содержания белка. Также увеличивается содержание глютелина и проламина [20].

Аминокислотный состав коричневого риса: аланин, 5,5–6,5; аргинин 7,9–9,5; аспарагиновая кислота 9,0–10,5; цистеин 1,2–2,1; глутаминовая кислота 16,9–19,9; глицин, 4,5–5,4; гистидин 2,1–2,9; изолейцин 4,1–4,8; лейцин 7,9–8,9; лизин 3,5–4,6; метионин 1,9–2,9; фенилаланин, 5,3–6,0; пролин 4,4–5,5; серин 4,6–5,9; треонин 3,6–4,4; триптофан 0,9–1,6; тирозин 4,4–5,4; и валин 5,9–7,0 [21]. Свободные аминокислоты составляют около 0,7% от веса белка коричневого риса, из которых основные свободные аминокислоты – аспарагиновая и глутаминовая кислоты. Аминокислотный состав четырех белковых фракций корич-

невого риса показывает, что наибольшее содержание лизина имеет альбумин, за которым следуют глютелин, глобулин и проламин. Чем выше содержание альбумина, тем выше содержание лизина и ниже содержание глутаминовой кислоты, что отражает лучшее качество протеина в зародышах и отрубях риса. Среди зерновых белков рисовый белок предлагает лучший пищевой статус благодаря высокому содержанию лизина, хотя лизин по-прежнему является лимитирующей аминокислотой, за которой следует треонин. Улучшение нутритивного статуса отмечено в образцах риса с высоким содержанием белка, содержащих более высокие уровни всех незаменимых аминокислот; этот факт побуждает производителей прилагать больше усилий для выращивания сортов риса с высоким содержанием белка, а не улучшать качество их белка [20, 21].

*Липиды.* Содержание липидов или жиров в рисе сосредоточено в слоях алейронов и отрубей в виде липидных тел или сферосом. Содержание липидов в коричневом рисе варьируется от 0,5 до 3,5%, в муке из коричневого риса колеблется от 2,65 до 3,24%, тогда как находятся в диапазоне 2,38–2,84%. В коричневом рисе 51% сырого масла содержится в зародышах, 32% – в слое отрубей и только 17% – в эндосперме. В эндосперме рисового зерна липиды распределены неравномерно, причем наибольший процент приходится на внешние слои и постепенно уменьшается к центру зерна [22].

Неомыляемое вещество отрубного масла состоит из 42% стеролов, 24% высших спиртов, 20% феруловой кислоты и 10% углеводов. Оризанол, ферулированный эфир ненасыщенных тритерпеноидных спиртов является мощным антиоксидантом, присутствующим в отрубном масле на уровне 0,96–2,89%. Коричневый рис также содержит еще один мощный антиоксидант, называемый токоферолами, на уровне 5%, из которых 47% составляет основной токоферол, то есть  $\alpha$ -токоферол, который присутствует на уровне 0,005–0,015% липидов коричневого риса. Два других токоферола, такие как  $\beta$ -токоферол и  $\gamma$ -токоферол, составляют около 26%. Содержание воска в масле рисовых отрубей составляет 3–9%. Коричневый рис содержит значительно более высокие уровни линолевой, пальмитиновой и олеиновой кислот, но имеет более низкое содержание миристиновой, пальмитиновой, пальмитолеиновой и стеариновой кислот, по сравнению с молотым рисом.

Около 43% олеиновой, 28% пальмитиновой и 25% линолевой кислот являются основными компонентами жирных кислот коричневого риса и сконцентрированы в основном в отрубях и зародышах зерна. Свободные жирные кислоты, моно- и диглицериды в основном включают пальмитиновую, олеиновую и линолеовую кислоты. Воскообразный и невосковой рис имеют схожий состав жирных кислот [23, 24].

*Витамины* в основном сосредоточены в алейроновых слоях коричневого риса. Хранение не влияет на общий состав риса, но содержание витаминов постепенно уменьшается. Коричневый рис богат такими витаминами, как тиамин (0,29–0,61), рибофлавин (0,04–0,14), ниацин (3,5–5,3) и токоферол (0,90–2,50), а также такими минералами, как кальций (10–50), фосфор (170–430), железо (0,2–5,2) и цинк (0,6–2,8); значения показаны здесь в мг/100 г муки [25]. Поскольку витамины группы В более сконцентрированы в слое отрубей, основным питательным преимуществом коричневого риса перед молотым рисом является высокое содержание витамина В. Около 50% общего тиамина находится в щитковой части зерна, а 80–85% ниацина присутствует в слоях околоплодника и алейрона; эмбрион составляет более 95% от общего количества токоферолов. Тиамин коричневого риса в основном сконцентрирован в отрубях (65%), а 22% присутствует во фракции размолотого риса. В отрубях содержится около 39% рибофлавина и 54% ниацина соответственно [26].

При исследовании [27] уровня витаминов в коричневом рисе содержание витамина В1 варьировалось от 0,04 до 0,05 мг/100 г, витамина В2 – от 0,053 до 0,071 мг/100 г, витамина В3 – от 4,68 до 7,32 мг/100 г и фолиевой кислоты – от 0,04 до 0,05 мг/100 г. Однако рис Njаvага содержит больше витамина В1 (27–32%), витамина В2 (4–25%) и витамина В3 (2–36%) по сравнению с двумя другими сортами риса. Авторы [28] наблюдали широкий разброс содержания витаминов в сортах бурого риса. Содержание витамина В1 колебалось от 0,09 до 0,16 мг/100 г, В2 – от 0,10 до 0,27 мг/100 г, В3 – от 4,02 до 5,41 мг/100 г и В6 – от 0,08 до 0,19 мг/100 г. Авторы работ [29] сообщили, что коричневый рис содержит 0,403; 0,065; 5,433 и 0,563 мг/100 г витамина В1, В2, В3 и В6 соответственно. Коричневый рис содержит более высокий уровень рибофлавина, а также схожее содержание тиамина. Различие в содержании витаминов в рисе может быть

связано с различиями в генетическом фоне разных сортов риса [30].

*Минеральный состав* рисового зерна в значительной степени зависит от наличия питательных веществ в почве во время роста и сорта сельскохозяйственных культур. Минералы также сосредоточены в основном во внешних слоях коричневого риса. Проанализированный коричневый рис содержит в среднем значительно более высокие концентрации меди, калия, магния, марганца, натрия, фосфора и цинка по сравнению с образцами шлифованного риса. Авторы работ [31] проанализировали 25 марок риса на предмет 36 основных и второстепенных элементов, используя четыре различных инструментальных метода. По их данным, средние значения минералов следующие: для кальция (127 мг/кг; 104 мг/кг), меди (1,65 мг/кг; 2,96 мг/кг), железа (22,3 мг/кг; 20,1 мг/кг), магния (371 мг/кг; 1205 мг/кг), марганца (10,5 мг/кг; 26,5 мг/кг), молибдена (0,790 мг/кг; 0,770 мг/кг), фосфора (1203 мг/кг; 3361 мг/кг), калия (913 мг/кг; 2157 мг/кг), селена (0,108 мг/кг; 0,131 мг/кг), натрия (6,00 мг/кг; 15,1 мг/кг), серы (1131 мг/кг; 1291 мг/кг) и цинка (15,6 мг/кг; 20,2 мг/кг) для шлифованного и коричневого риса соответственно. Анализ спектрометра рентгеновской флуоресценции с дисперсией по длине волны показал, что коричневый рис является богатым источником минералов, включая кальций, железо, калий, магний, марганец, фосфор, серу и цинк [32]. Существенная разница наблюдалась в минеральном составе бурого риса разных сортов. Самым распространенным минералом был калий (93,15–110,35 мг/100 г), за ним следовали фосфор (76,30–89,80 мг/100 г), сера (20,75–26,90 мг/100 г) и магний (17,15–20,90 мг/100 г), а самым низким оказался цинк (2,10–2,45 мг/100 г). Основная часть (90%) фосфора в отрубях – это фосфор фитина [33]. Важным фактором является высокий уровень фитата во фракции отрубей (алеиرون и зародыши). Сообщается, что содержание селена в коричневом рисе, выращиваемом в Японии, составляет 30–40 мг/г, 13% селена присутствует в шелухе, 15% – в отрубях и 72% – в зернах риса [34]. Результаты показали, что количество минералов значительно различается между разновидностями, что зависит от генетической структуры разновидности. Коричневый рис, богатый минералами, можно рассматривать как рентабельный и многообещающий метод борьбы с недоеданием и другими проблемами, связанными со здоровьем.

*Антиоксидантные свойства  
коричневого риса*

Рис был признан отличным источником уникальных сложных природных антиоксидантных соединений. Эффект поглощения биоактивных компонентов, таких как фенольные соединения, флавоноиды, антоцианы, проантоцианидины, токоферолы и оризаноол, которыми богаты рисовые зерна, может быть механизмом, посредством которого цельные зерна обладают своим защитным действием. Большинство фитохимических веществ в зерне коричневого риса присутствует во фракции отрубей, и зародыша. В дополнение к фитохимическим веществам коричневый рис также содержит пищевые волокна. Эти функциональные компоненты находятся в основном в отрубях и зародышевых листьях коричневого риса и теряются при шлифовании до белого [35].

Основные антоциановые компоненты коричневого риса были идентифицированы как цианидин-3-глюкозид и пеонидин-3-глюкозид, и эти соединения обладали заметной антиоксидантной активностью. Заметная разница в антиоксидантных свойствах коричневого риса наблюдалась в зависимости от сортов риса. Было доказано, что коричневый рис обладает сильной антиоксидантной активностью со значительными колебаниями в содержании общих фенольных кислот (0,81–1,64 мг эквивалента галловой кислоты/г), содержании флавоноидов (50,67–79,41 мкг эквивалента катехина/г), 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил активность по улавливанию радикалов (46,18–70,51 %) и общая восстанавливающая способность (7,34–17,14 мкмоль эквивалента аскорбиновой кислоты/г) среди сортов. Содержание фенолов в красном, пурпурном и белом рисе варьировалось от 34 до 424, от 69 до 535 и от 25 до 246 мг эквивалента галловой кислоты/100г соответственно. В коричневом рисе фенольные кислоты в основном присутствуют в трех формах: растворимые свободные, растворимые конъюгированные и нерастворимые связанные [36].

Самой распространенной связанной фенольной кислотой в коричневом рисе является феруловая кислота, на долю которой приходится почти 50–65 % всех связанных фенольных кислот. Феруловая кислота обладает широким спектром терапевтических эффектов против многих хронических состояний, таких как воспаление, рак, апоптоз, сердечно-сосудистые заболевания, диабет и нейродегенеративные заболевания, поэтому потребление коричневого риса по-

может снизить частоту хронических заболеваний у людей Мин Т. и др. [37, 38] изучили антиоксидантные свойства восьми сортов цельного зерна риса, различающихся по цвету, общему количеству фенолов, флавоноидов и улавливающей 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил радикалы активности экстрагируемых растворителем свободных и связанных фракций. Содержание свободной и растворимой фенольной фракции варьировало от 0,44 до 6,97 и от 0,46 до 2,28 мг эквивалента галловой кислоты/г соответственно. Общее содержание свободных флавоноидов изменялось от 0,16 до 2,28 и от 0,24 до 0,43 мг эквивалентов катехина/г, а содержание улавливающих радикалов составляло от 1,19 до 41,95 и от 0,99 до 10,55 мкмоль эквивалентов тролох/г для свободной и растворимой фракций соответственно. Зерна красного и пурпурного риса показали более высокое содержание фенолов, флавоноидов и антиоксидантные свойства, чем сорта риса светлого цвета [39].

Заметная разница в антиоксидантных свойствах наблюдалась у разных сортов коричневого риса (таблица). Доказано, что коричневый рис обладает мощной антиоксидантной активностью со значительным изменением общего содержания фенолов (0,81–1,64 мг эквивалент галловой кислоты /г), содержание флавоноидов (50,67–79,41 мкг катехин-экв/г), 2,2-дифенил-1-активностью по улавливанию пикрилгидразильных радикалов (46,18–70,51 %) и общей восстанавливающей способностью (7,34–17,14 мкмоль-экв. аскорбиновой кислоты/г) среди сортов [27, 40].

Авторы [40] количественно оценили свободные и связанные фитохимические вещества в эндосперме и отрубях/зародышах различных сортов риса. Фитохимические вещества в основном существовали в свободной форме в отрубях/эмбрионе, а также в свободной и связанной формах в эндосперме. Средние значения общего фенольного содержания и содержания флавоноидов в отрубях/зародышах были в 3,1 и 10,4 раза выше, чем в эндосперме соответственно. В цельном коричневом рисе отруби составляли 59,2 и 53,7 % от общего количества фенольных соединений и флавоноидов соответственно. Семь отдельных фенольных соединений, включая галловую, протокатехиновую, хлорогеновую, кофейную, сириговую, кумаровую и феруловую кислоты, были обнаружены в отрубях с преобладанием кумаровой и феруловой кислот.



Антиоксидантные свойства различных сортов коричневого риса

Сорта	Фенолы (мг эквивалент галловой кислоты /100 г)			Флавоноиды (мг эквивалент катехин /100 г)			Источники
	Свободные	Связанные	Общие	Свободные	Связанные	Общие	
Longjing 25	59,85	60,28	120,13	65,51	44,76	110,27	[43]
Sonjing 16	63,77	51,52	115,29	80,70	31,33	112,03	
Tianyouhuazhan	42,09	30,36	72,45	52,03	23,87	75,90	
Wuyou 308	67,86	46,43	114,29	76,82	33,56	110,38	
Fenghuazhan	58,09	44,70	102,78	62,15	41,89	104,04	
Japonica rice	65,60	34,80	100,40	42,60	34,30	76,90	[41]
Indica rice	62,00	37,30	99,30	56,30	55,70	112,10	
Tianyou 998	100,30	73,70	174,00	61,10	63,90	124,90	[42]
DV 123	67,00	41,00	108,00	28,00	13,00	41,00	[39]
HB1	220,00	60,00	280,00	99,00	17,00	116,00	
IAC 600	490,00	75,00	565,00	180,00	18,00	198,00	
Kechengnuo4	44,00	61,00	105,00	20,00	24,00	44,00	[40]
Cocodrie	62,00	63,00	125,00	23,00	26,00	49,00	
Bengal	58,00	46,00	104,00	22,00	24,00	46,00	
Heugjinjubyeo	1640,00	176,00	1820,00	317,00	22,00	339,00	[27]
Heugkwangbyeo	1180	153	1330	197,00	16,00	213,00	

Нью и др. [41] исследовали антиоксидантные свойства 22 образцов красного риса, выращенного в провинции Чжэцзян. Общее содержание фенолов колебалось от 433 до 2213 мг эквивалента феруловой кислоты/г, тогда как концентрация цианидин-3-О-глюкозида составляла 11,6–16,5 мг/г в образцах красного риса. Распределение фенольных кислот и антоцианов в эндосперме, зародышах и отрубях зерен белого, красного и черного риса исследовали [42]. Общее содержание фенолов было самым высоким в отрубях, составляющем в среднем 7,35 мг эквивалента галловой кислоты/г и составляющих 60%, 86% и 84% фенольных соединений в белом, красном и черном рисе, соответственно. Среднее общее содержание фенолов в эмбрионе и эндосперме составляло 2,79 и 0,11 мг эквивалента галловой кислоты/г, что составляет 17 и 23, 4 и 10, 7 и 9% в белом, красном и черном рисе соответственно. Свободные/конъюгированные фенольные кислоты в белых, красных и черных рисовых отрубях составляли 41, 65 и 85% от общего количества кислот. Связанные фенольные кислоты в отрубях коричневого риса составляют 90% от общего количества кислот в рисовом зерне [43, 44].

**Выводы**

1. На основании проведенного анализа обзора литературы установлено, что суще-

ствуют большие различия между сортами коричневого риса по химическому составу и антиоксидантным свойствам, содержанию минералов и крахмала. Такие различия могут быть связаны с генотипом, а также с почвенно-климатическими условиями выращивания.

2. Сорта коричневого риса повышают питательную ценность пищевых продуктов, что может быть использовано в пищевой промышленности.

3. Требуется дальнейшее изучение влияния агротехнических и климатических условий на химический состав, фитохимические и пищевые свойства коричневого риса.

4. Требуется разработка технологии производства пищевых продуктов с улучшенными питательными свойствами и другими технологическими характеристиками продуктов питания на основе коричневого риса.

**Список литературы**

1. Itagi H.N., Singh V. Status in physical properties of coloured rice varieties before and after inducing retro-gradation // J food Sci Tech. 2015. № 52 (12). P. 7747–7758.
2. Martina Nádvořníková, Jan Banout, David Herák, Vladimír Verner. Evaluation of physical properties of rice used in traditional Kyrgyz Cuisine // Food Science-nutrition.com ci Nutr. 2018. № 6. P. 1778–1787. DOI: 10.1002/fsn3.746.
3. Smanalieva J., Salieva K., Borkoev B., Windhab E.J., Fischer P. Investigation of changes in chemical composition and rheological properties of Kyrgyz rice cultivars (Ozgon rice) depending on long-term stack-storage after harvesting // LWT – Food Science and Technology. 2015. № 63 (1). P. 626–632. DOI: 10.1016/J. LWT.2015.03.045.

4. Zhang G.Y., Liu R.R., Zhang P. Variation and distribution of vitamin E and composition in seeds among different rice varieties // *Acta Agron Sin.* 2012. № 38. P. 55–61.
5. Hayashi S., Yanase E. A study on the color deepening in red rice during storage // *Food Chemistry*. 2016. № 199. P. 457–462.
6. Atungulu G.G., Sadaka S. Postharvest technology: Rice drying. In Bao J.S. (Ed.). *Rice Chemistry and Technology*. 4th ed. Duxford, UK: Elsevier Inc., 2019. P. 473–515.
7. Leewatchararongjaroen J., Anuntagool J. Effects of dry-milling and wet-milling on chemical, physical and gelatinization properties of rice flour // *Rice Science*. 2016. № 23 (5). P. 274–281.
8. Matz S.A. The chemistry and technology of cereals as food & feed, 2nd edn. Sci Inter Pvt.Ltd., New Delhi, 2014. 751 p.
9. Mukhopadhyay S., Siebenmorgen T.J. Physical and functional characteristics of broken rice kernels caused by moisture-adsorption fissuring // *Cereal Chemistry*. 2015. № 94 (3). P. 539–545.
10. Chen Y.J., Jiang W.X., Jiang Z.Q., Chen X., Cao J., Dong W., Dai B.Y. Changes in physicochemical, structural, and sensory properties of irradiated brown japonica rice during storage // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015. № 63 (17). P. 4361–4369.
11. Deng G.F., Xu X.R., Guo Y.J. Determination of antioxidant property and their lipophilic and hydrophilic phenolic contents in cereal grains // *J Funct Foods*. 2012. № 4. P. 906–914.
12. Mir S.A., Bosco S.J., Shah M.A., Mir M.M., Sunooj K.V. Variety difference in quality characteristics, antioxidant properties and mineral composition of brown rice // *J Food Measur Charact.* 2016. № 10 (1). P. 177–184.
13. Ziegler V., Ferreira C.D., Goebel J.T., El Halal S.L., Santetti G.S., Gutkoski L.C., Elias M.C. Changes in properties of starch isolated from whole rice grains with brown, black, and red pericarp after storage at different temperatures // *Food Chemistry*. 2017. № 216. P. 194–200.
14. Wani A.A., Singh P., Shah M.A., Schweiggert-Weisz U., Gul K., Wani I.A. Rice starch diversity effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2012. № 11. P. 417–436.
15. Huang Y.C., Lai H.M. Characteristics of the starch fine structure and pasting properties of waxy rice during storage // *Food Chemistry*. 2014. № 152. P. 432–439.
16. Thanathornvarakul N., Anuntagool J., Tananuwong K. Aging of low and high amylose rice at elevated temperature: Mechanism and predictive modeling // *Journal of Cereal Science*. 2016. № 70. P. 155–163.
17. Lim D.K., Long N.P., Choo S., Mo C., Dong Z., Kim G., Kwon S.W. Impact of milling on rice constituents (*Oryza sativa* L.): A metabolomic approach // *Analytical Letters*. 2017. № 50 (16). P. 2519–2529.
18. Liu Q-H., Wu X., Chen B-C., Ma J-Q., Gao J. Effects of low light on agronomic and physiological characteristics of rice including grain yield and quality // *Rice Sci.* 2014. № 21. P. 243–251.
19. Shi J.Y., Wu M.D., Quan M.M. Effects of protein oxidation on gelatinization characteristics during rice storage // *Journal of Cereal Science*. 2017. № 75. P. 228–233.
20. Zhou Z.K., Wang X.F., Si X., Blanchard C., Strappe P. The ageing mechanism of stored rice: A concept model from the past to the present // *Journal of Stored Products Research*. 2015. № 64. P. 80–87.
21. Olatunde G.A., Atungulu G.G. Milling behavior and microstructure of rice dried using microwave set at 915 MHz frequency // *Journal of Cereal Science*. 2018. № 80. P. 167–173.
22. Liu K.L., Li Y., Chen F.S., Yong F. Lipid oxidation of brown rice stored at different temperatures // *International Journal of Food Science and Technology*. 2017. № 52 (1). P. 188–195.
23. Ahmad U., Alfaro L., Yeboah-Awudzi M., Kyereh E., Dzandu B., Bonilla F., Sathivel S. Influence of milling intensity and storage temperature on the quality of Catahoula rice (*Oryza sativa* L.) // *LWT – Food Science and Technology*. 2017. № 75. P. 386–392.
24. Tong C., Liu L., Waters D.L.E., Huang Y., Bao J.S. The contribution of lysophospholipids to pasting and thermal properties of non waxy rice starch // *Carbohydrate Polymers*. 2015. № 133. P. 187–193.
25. Mir S.A., Bosco S.J.D., Shah M.A., Mir M.M., Sunooj K.V. Variety difference in quality characteristics, antioxidant properties and mineral composition of brown rice // *J Food Measur Charact.* 2016b. № 10 (1). P. 177–184.
26. Zhou Z.K., Yang X., Su Z., Bu D.D. Effect of ageing-induced changes in rice physicochemical properties on digestion behaviour following storage // *Journal of Stored Products Research*. 2016. № 67. P. 13–18.
27. Edenio Olivares Diaz, Shuso Kawamura, Shigenobu Koseki. Physical properties of rough and brown rice of Japonica, Indica and Nerica types // *Agric Eng Int: CIGR Journal*. 2015. № 5. P. 274–285.
28. Mir S.A., Bosco S.J.D., Sunooj K.V. Evaluation of physical properties of rice cultivars grown in the temperate region of India // *Int. Food Res. J.* 2013. № 20 (4). P. 1521–1527.
29. Pascual C.I., Massaretto I.L., Kawassaki F. Effects of parboiling, storage and cooking on the levels of tocopherols, tocotrienols and  $\gamma$ -oryzanol in brown rice (*Oryza sativa* L.) // *Food Res. Int.* 2013. № 50. P. 676–681.
30. Ravi U., Menon L., Madhavan R., Priyadharshini S., Dhivya M.E. Determination of quality characteristics of indigenous organic Asian Indian rice variety – Neelam samba // *Agricultural Science Digest*. 2014. № 34 (3). P. 177–182. DOI: 10.5958/0976-0547.2014.00997.5.
31. Liang Y., Gao Y., Lin Q., Luo F., Wu W., Lu Q., Liu Y. A review of research progress on the bioactive ingredients and physiological activities of rice bran oil // *Eur Food Res Technol.* 2014. № 238. P. 169–176.
32. Antoine J.M.R., Fung L.A.H., Grant C.N., Dennis H.T., Lalor G.C. Dietary intake of minerals and trace elements in rice on the Jamaican market // *J Food Comp Anal.* 2012. № 26 (1). P. 111–121.
33. Huang Y., Tong C., Xu F., Chen Y., Zhang C., Bao J. Variation in mineral elements in grains of 20 brown rice accessions in two environments // *Food Chem.* 2016. № 192. P. 873–878.
34. Saikrishna A., Dutta S., Subramanian V., Moses J.A., Anandharamakrishnan C. Ageing of rice: A review // *Journal of Cereal Science*. 2018. № 81. P. 161–170.
35. Irakli M.N., Samanidou V.F., Katsantonis D.N., Biliaderis C.G., Papadoyannis I.N. Phytochemical profiles and antioxidant capacity of pigmented and non-pigmented genotypes of rice (*Oryza sativa* L.) // *Cereal Res Commun.* 2016. № 44. P. 98–110.
36. Gunaratne A., Wu K., Li D. Antioxidant activity and nutritional quality of traditional redgrained rice varieties containing proanthocyanidins // *Food Chem.* 2013. № 138. P. 1153–1161.
37. Min B., McClung A., Chen M.H. Effects of hydrothermal processes on antioxidants in brown, purple and red bran whole grain rice (*Oryza sativa* L.) // *Food Chem.* 2014. № 159. P. 106–115.
38. Min B., Gu L., McClung A.M., Bergman C.J., Chen M.H. Free and bound total phenolic concentrations, antioxidant capacities, and profiles of proanthocyanidins and anthocyanins in whole grain rice (*Oryza sativa* L.) of different bran colours. *Food Chem.* 2012. № 133 (3). P. 715–722.
39. Liu L., Guo J., Zhang R., Wei Z., Deng Y., Guo J., Zhang M. Effect of degree of milling on phenolic profiles and cellular antioxidant activity of whole brown rice // *Food Chem.* 2015. № 185. P. 318–325.
40. Ti H., Li Q., Zhang R., Zhang M., Deng Y., Wei Z., Chi J., Zhang Y. Free and bound phenolic profiles and antioxidant activity of milled fractions of different indica rice varieties cultivated in southern China // *Food Chem.* 2014. № 159. P. 166–174.
41. Niu Y., Gao B., Slavin M., Zhang X., Yang F., Bao J., Yu L.L. Phytochemical compositions, and antioxidant and anti-inflammatory properties of twenty-two red rice samples grown in Zhejiang // *LWT-Food Sci Technol.* 2013. № 54 (2). P. 521–527.
42. Shao Y., Xu F., Sun X., Bao J., Beta T. Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.) // *J Cereal Sci.* 2014. № 59 (2). P. 211–218.
43. Gong E.S., Luo S.J., Li T., Liu C.M., Zhang G.W., Chen J. et al. Phytochemical profiles and antioxidant activity of brown rice varieties // *Food Chem.* 2017. 227. P. 432–443.
44. Lee K.H., Kim H.J., Woo K.S., Jo C., Kim J.K., Kim S.H. Evaluation of cold plasma treatments for improved microbial and physicochemical qualities of brown rice // *LWT-Food Sci Technol.* 2016. № 73. P. 442–447.

УДК 630\*531:630\*181.64  
DOI 10.17513/use.38221

## СООТНОШЕНИЕ ДИАМЕТРОВ КРОН И ДЕРЕВЬЕВ В ПЛОТНЫХ СОСНЯКАХ ПОДТАЕЖНО-ЛЕСОТЕПНОГО РАЙОНА СРЕДНЕЙ СИБИРИ

<sup>1</sup>Вайс А.А., <sup>1</sup>Козлов Н.В., <sup>2</sup>Вараксин Г.С., <sup>3</sup>Ануев Е.А.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, e-mail: nik.vik.kozlov.2000@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Институт леса имени В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН» –  
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск;

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск

При всем разнообразии вопросов о дешифрировании полога и эффективном переходе к морфологическим показателям отдельных деревьев задачи изучения соотношения диаметров кроны и стволов в высокоплотных насаждениях представлены недостаточно и требуют отдельного исследования. С этой целью в условиях подтаежно-лесостепного района проведены полевые работы в сосняках I–III классов бонитета. В насаждениях на 14 лесных участках (выделах) измерялись радиусы кроны в четырех направлениях (С-Ю, С-З, С-В, Ю-З, Ю-В, З-В) и диаметры стволов сосны на высоте 1,3 м. Установлено, что связь между радиусами кроны по сторонам света менялась от умеренной (0,34) до очень тесной (0,94). Оценка радиусов по классам бонитета показала, что различий кроны с учетом качества условий местопроизрастания не выявлено. По классам бонитета в сосняках III класса бонитета установлена более высокая по тесноте связь в сравнении с I и II классами бонитета. Разработан ряд нормативов для определения диаметров стволов на высоте груди и диаметров кроны деревьев для сосняков I, II, III-го классов бонитета и условиях подтаежно-лесостепного района Средней Сибири. В перегушенных сосняках вне зависимости от качества условий местопроизрастания соотношение между диаметрами стволов и кроны имеет определенную схожесть в угле наклона и близости линий, с некоторым исключением для сосняков I класса бонитета зеленомошного типа леса.

**Ключевые слова:** сосна, оптимальная формула, объем дерева, диаметр, насаждение

## THE RATIO OF THE DIAMETERS OF CROWNS AND TREES IN DENSE PINE FORESTS SUBTAEZHNO-LESOTEPNY DISTRICT OF CENTRAL SIBERIA

<sup>1</sup>Vays A.A., <sup>1</sup>Kozlov N.V., <sup>2</sup>Varaksin G.S., <sup>3</sup>Anuev E.A.

<sup>1</sup>Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev,  
Krasnoyarsk, e-mail: nik.vik.kozlov.2000@gmail.com;

<sup>2</sup>V.N. Sukachev Forest Institute of the Siberian Branch of the RAS – a separate division  
of the Federal research Center Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk;

<sup>3</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk

With all the variety of questions about decoding the canopy and effective transition to morphological indicators of individual trees, the tasks of studying the ratio of crown and trunk diameters in high-density plantations are insufficiently presented and require separate research. For this purpose, in the conditions of the subtaiga-forest-steppe region, field work was carried out in pine forests of the I–III classes of the bonus. In plantations on 14 forest plots (allotments). The radii of the crowns were measured in 4 directions (N-S, N-W, N-E, S-W, S-E, W-E) and the diameters of the pine trunks at a height of 1.3 meters. It was found that the relationship between the radii of the crowns on the cardinal directions varied from moderate (0.34) to very close (0.94). The assessment of radii by bonus classes showed that there were no differences in crowns, taking into account the quality of the growing conditions. According to the classes of bonit in the pine forests of the III class of bonit, a higher closeness relationship has been established in comparison with the I and II classes of bonit. A number of standards have been developed to determine trunk diameters at chest height and tree crown diameters for pine forests of the I-th, II-th, III-th bonity classes and conditions of the subtaiga-forest-steppe region of Central Siberia. In overgrown pine forests, regardless of the quality of the growing conditions, the ratio between the diameters of trunks and crowns has a certain similarity in the angle of inclination and the proximity of the lines, with some exceptions for pine forests of the I class of the green moss forest type.

**Keywords:** pine, optimal formula, tree volume, diameter, stand

В настоящее время большое внимание уделяется развитию технологий БПЛА (беспилотных летательных аппаратов), особенно в контексте применения в гражданских отраслях. В сфере лесного хозяйства применение таких устройств позволяет решать

целый комплекс задач, которые ранее проводились только натурно.

Одной из важных составляющих процесса лесопользования является выполнение пересчетных работ по оценке диаметров растущих деревьев. При использовании

БПЛА с достаточно высокой точностью можно определить радиусы и диаметры крон. Далее процесс дешифрирования состоит в переходе с помощью регрессионной модели к диаметру ствола на высоте 1,3 м. Необходимо отметить, что в перегущенных древостоях соотношение между диаметрами крон и диаметрами стволов носит еще более сложную специфику, которую необходимо учитывать. Без натурных измерительных работ невозможно выполнить оценку точности пересчетных работ дистанционными методами.

Исследований по изучению соотношению диаметров крон и стволов деревьев проведено достаточно много, но они не учитывают специфику технологии БПЛА и проведены на локальных объектах. Так, в статье И.В. Толкач, О.С. Бахур приводится краткий анализ измерительного дешифрирования цифровых снимков с использованием геоинформационных систем [1]. Установлено, что существуют тесные связи между таксационными и дешифровочными показателями полога древостоя.

В результате совместного изучения и анализа таксационных и дешифровочных показателей на пробных площадях и таксационных выделах выявлена зависимость между средним диаметром крон и средним таксационным диаметром деревьев на высоте 1,3 м для различных пород. Определены взаимосвязи таксационного диаметра с таксационно-дешифровочными показателями древостоя, такими как высота и диаметр крон [2].

В условиях ленточных боров Прииртышья формирование полога древостоя сосняков начинается с 50 лет и продолжается до 80 лет. В результате формируются разновозрастные древостои. Данные насаждения характеризуются ступенчатой сомкнутостью полога. В большинстве эти насаждения являются двухъярусными и реже трехъярусными [3].

Отдельные публикации предлагают комплексное решение проблемы определения таксационных показателей и описаний с использованием дистанционных методов и ограниченных по объему наземных работ [4].

Широкое применение в лесохозяйственных исследованиях за рубежом находят регрессионные модели смешанных эффектов, которые показывают значительные преимущества перед классическими моделями фиксированных эффектов [5, 6].

Некоторые публикации предлагают обзор методик определения таксационных ха-

рактеристик, в том числе и методы дистанционного зондирования [7, 8].

В другой статье авторы разработали систему обработки данных измерительного дешифрирования чистых сосновых древостоев I<sup>a</sup>–II классов бонитета. Данная система подразумевает выполнение измерительного дешифрирования чистых сосновых древостоев на цифровых снимках с вычислением основных таксационных показателей древостоя с помощью регрессионных уравнений взаимосвязей между таксационными и дешифровочными показателями [9].

Для расчета массы крон деревьев березы можно применять модель, где в качестве независимой переменной используется аналог объема кроны дерева, моделируемого произведением квадрата диаметра на длину кроны. При этом связь между логарифмами массы крон и этим показателем можно аппроксимировать линейной функцией [10].

Следующая работа описывает методику дешифрирования таксационных показателей смешанных березово-еловых древостоев на сверхдетальных снимках, полученных с беспилотных летательных аппаратов в условиях северо-таежного лесного района [11].

Для молодняков ели, под пологом березняков южной тайги, находящихся в стадии возмужания и зрелости, составлены конкретные уравнения регрессии, которые могут применяться при проведении исследований в подпологовых популяциях ели [12].

В результате анализа научной литературы можно констатировать, что при всем разнообразии представленных вопросов о дешифрировании полога и переходе к морфологическим показателям отдельных деревьев вопросы соотношения диаметров крон и стволов в высокополнотных насаждениях представлены недостаточно и требуют отдельного исследования.

### Материалы и методы исследования

Сосновые насаждения, произрастающие на территории учебно-опытного лесхоза СибГУ, имеют ряд особенностей, которые отличают их от других сосняков. Это происхождение и местоположение (значительное число древостоев сформировалось на старопашотных землях, размещены сосняки в водоохранной зоне р. Енисей, высокопродуктивные насаждения произрастают на южном склоне), сосняки характеризуются высокой полнотой и густотой, качество местопрорастания имеет широкий спектр условий от I до IV класса бонитета. На рис. 1 представлена схема местоположения района исследования.

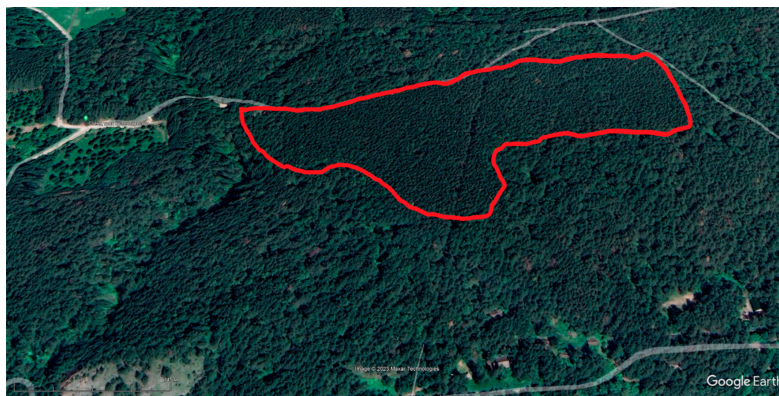


Рис. 1. Район исследований в Учебно-опытном лесхозе СибГУ на космическом снимке (выделенная часть сосновых насаждений характеризуется высокой плотностью и полнотой)

Таблица 1

Коэффициенты корреляции связей морфологических признаков деревьев (диаметрами стволов) и показателями кроны сосны

Номер квартала	Номер выдела	Класс бонитета	Коэффициенты корреляции					
			направления радиусов кроны					
			С – Ю	С – З	С – В	Ю – З	Ю – В	З – В
51	12	I	0,76	0,49	0,45	0,72	0,54	0,44
51	11	I	0,92	0,86	0,88	0,86	0,90	0,84
51	10	I	0,92	0,83	0,85	0,82	0,85	0,83
42	17	I	0,89	0,87	0,91	0,90	0,90	0,90
50	19	I	0,85	0,82	0,85	0,87	0,87	0,86
50	20	I	0,77	0,76	0,67	0,69	0,66	0,59
43	14	II	0,67	0,77	0,39	0,61	0,59	0,53
42	18	II	0,59	0,70	0,80	0,34	0,67	0,76
42	19	II	0,71	0,66	0,83	0,66	0,77	0,75
42	21	II	0,81	0,80	0,81	0,82	0,77	0,73
43	13	III	0,73	0,82	0,82	0,77	0,74	0,72
43	15	III	0,78	0,88	0,89	0,79	0,85	0,80
41	18	III	0,95	0,91	0,93	0,93	0,94	0,94
50	27	III	0,92	0,91	0,94	0,92	0,92	0,89

Примечание: коэффициенты корреляции значимы, поскольку  $p < 0,05$ . Оценки получены при уровне доверительной вероятности 95,4%. Ячейки с максимальным коэффициентом корреляции

Полевые работы проводились в сосняках I–III классов бонитета в насаждениях на 14 лесных участках (выделах). Измерялись радиусы кроны в четырех направлениях (С – Ю, С – З, С – В, Ю – З, Ю – В, З – В) и диаметры стволов сосны на высоте 1,3 м.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Корреляционная связь устанавливалась между диаметрами стволов и диаметрами кроны в направлениях С – Ю, З – В и средним

диаметром кроны. В табл. 1 представлены коэффициенты корреляции связи радиусов кроны по сторонам света.

Шкала оценки коэффициентов корреляции по Пирсону [13]. Согласно данной шкале связь между радиусами кроны по сторонам света менялась от умеренной (0,34) до очень тесной (0,94). В отдельных лесных участках максимальная теснота связи наблюдалась по различным сторонам света. Оценка по классам бонитета показала, что различий кроны по радиусам не наблюдалось.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции связи диаметров стволов и диаметров кроны деревьев сосны

Номер квартала	Номер выдела	Класс бонитета	Коэффициенты корреляции $d_k - d_{1,3}$
51	12	I	0,72
51	11	I	0,71
51	10	I	0,86
42	17	I	0,90
50	19	I	0,71
50	20	I	0,64
43	14	II	0,75
42	18	II	0,83
42	19	II	0,75
42	21	II	0,89
43	13	III	0,90
43	15	III	0,93
41	18	III	0,83
50	27	III	0,85

Примечание: коэффициенты корреляции значимы, поскольку  $p < 0,05$ . Оценки получены при уровне доверительной вероятности 95,4%.

Таблица 3

Параметры уравнений связи диаметров кроны ( $d_k$ )  
и диаметров стволов ( $d_{1,3}$ ):  $d_k = f(d_{1,3})$ ,  $d_{1,3} = f(d_k)$

Номер квартала	Номер выдела	Класс бонитета	Уравнение			
			$d_k = f(d_{1,3})$	$R^2$	$d_{1,3} = f(d_k)$	$R^2$
51	12	I	$d_k = 0,048d_{1,3} + 2,3951$	0,62	$d_{1,3} = 12,823d_k - 21,405$	0,62
51	11	I	$d_k = 2,2495e^{0,0262 d_{1,3}}$	0,54	$d_{1,3} = -0,9627d_k^2 + 13,77d_k - 16,32$	0,56
51	10	I	$d_k = 0,9239d_{1,3}^{0,4713}$	0,82	$d_{1,3} = 2,0883d_k^{1,7195}$	0,81
42	17	I	$d_k = 0,0018d_{1,3}^2 + 0,0225d_{1,3} + 1,5014$	0,89	$d_{1,3} = -0,382d_k^2 + 10,591d_k - 6,6787$	0,84
50	19	I	$d_k = 0,6312d_{1,3}^{0,5391}$	0,71	$d_{1,3} = 4,3555d_k^{1,3143}$	0,71
50	20	I	$d_k = 1,1426\ln(d_{1,3}) - 0,1549$	0,60	$d_{1,3} = 3,3071d_k^{1,5859}$	0,60
43	14	II	$d_k = 0,0003d_{1,3}^3 - 0,0223d_{1,3}^2 + 0,5586d_{1,3} - 1,5644$	0,68	$d_{1,3} = -0,2417d_k^2 + 7,6706d_k + 0,141$	0,57
42	18	II	$d_k = 0,0001d_{1,3}^3 - 0,0105d_{1,3}^2 + 0,3196d_{1,3} - 0,0825$	0,76	$d_{1,3} = 6,6404d_k - 0,6936$	0,69
42	19	II	$d_k = 0,3968d_{1,3}^{0,6262}$	0,64	$d_{1,3} = 7,0553d_k^{1,0216}$	0,64
42	21	II	$d_k = 0,0005d_{1,3}^2 + 0,0827d_{1,3} + 0,9814$	0,80	$d_{1,3} = 0,2185d_k^2 + 5,1574d_k + 1,5015$	0,79
43	13	III	$d_k = 0,0001d_{1,3}^3 - 0,0089d_{1,3}^2 + 0,3241d_{1,3} - 0,2221$	0,84	$d_{1,3} = -0,2856d_k^3 + 4,1117d_k^2 - 9,004d_k + 13,514$	0,85
43	15	III	$d_k = 0,0005d_{1,3}^2 + 0,0909d_{1,3} + 1,2705$	0,87	$d_{1,3} = 6,7121d_k - 2,7516$	0,86
41	18	III	$d_k = 0,0002d_{1,3}^3 - 0,0178d_{1,3}^2 + 0,4966d_{1,3} - 1,4142$	0,83	$d_{1,3} = 0,208d_k^3 - 3,6011d_k^2 + 22,987d_k - 20,274$	0,74
50	27	III	$d_k = -0,0018d_{1,3}^2 + 0,1836d_{1,3} + 0,3072$	0,86	$d_{1,3} = 4,0046d_k^{1,3766}$	0,83

Перед выполнением моделирования параметров диаметров ствола и диаметров крон необходимо определить степень тесноты связи между этими показателями. Коэффициенты корреляции, отражающие данные связи представлены в табл. 2.

Данные таблицы показывают, что теснота между диаметрами стволов и диаметрами крон менялась от 0,64 до 0,90 (от значительной до тесной связи). Результаты позволяют выполнить моделирование данных морфологических признаков. По классам бонитета в сосняках III класса бонитета установлена более высокая теснота связи в сравнении с I и II классами бонитета.

С целью моделирования диаметров крон и диаметров стволов построены регрессии (точечные диаграммы), отражающие зависимости  $d_k = f(d_{1,3})$ ,  $d_{1,3} = f(d_k)$ .

Для аппроксимации данных связей использовались уравнения полиномиального, линейного, экспоненциального, степенного видов, которые представлены в табл. 3.

Коэффициенты детерминации менялись от 0,54 до 0,89. Все регрессии адекватны и достоверны. Уравнения таблицы можно использовать в тех или иных случаях для прогнозирования выходных переменных.

Для оценки степени различия представлена диаграмма, отражающая связь диаметров крон с диаметрами стволов деревьев сосны (рис. 2).

На рисунке видны различия по всем трем классам бонитета для исходной связи, на этом основании отдельно изображены линии для сосняков I, II, III-го классов бонитета. На основе предыдущего графического анализа построены диаграммы связи  $d_k = f(d_{1,3})$ ,  $d_{1,3} = f(d_k)$  для I, II, III-го классов бонитета (рис. 2).

Составлен ряд нормативов для определения диаметров стволов на высоте груди и диаметров крон деревьев для сосняков разных классов бонитета в условиях подтаежно-лесостепного района Средней Сибири (табл. 4, 5).

**Таблица 4**

Нормативная таблица по определению диаметра крон сосны по ступеням толщины

Степень толщины, см	6	8	12	16	20	24	28	32	36	40
	Диаметр кроны, м									
I класс бонитета	1,9	2,1	2,6	3,0	3,4	3,7	4,0	4,2	4,5	4,7
II класс бонитета	1,7	1,9	2,2	2,5	2,8	3,2	3,7	4,1	4,6	5,1
III класс бонитета	1,6	1,8	2,3	2,8	3,3	3,8	4,2	4,7	5,2	5,7
Максимальная средняя регрессионная разница, м	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	1,0
Степень толщины, см	44	48	52	56	60	62	64	68	72	76
I класс бонитета	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	5,9	–	–	–	–
II класс бонитета	5,7	6,3	6,9	7,5	8,2	8,6	8,9	9,7	–	–
III класс бонитета	6,2	6,7	7,2	7,6	8,1	8,4	8,6	9,1	9,6	10,1
Максимальная средняя регрессионная разница, м	1,2	1,5	1,8	2,0	2,4	2,7	0,3	0,6	–	–

**Таблица 5**

Нормативная таблица по определению диаметра стволов сосны по ступеням толщины

Степень диаметра кроны, м	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	11,5
	Диаметр ствола, см											
I класс бонитета	5,2	11,3	17,8	24,6	31,7	38,9	46,3	53,8	61,5	69,2	–	–
II класс бонитета	7,0	13,8	20,3	26,6	32,8	38,7	44,5	50,1	55,4	60,6	–	–
III класс бонитета	5,8	12,2	18,6	25,0	31,4	37,8	44,1	50,5	56,9	63,3	69,7	72,9
Максимальная средняя регрессионная разница, см	1,8	2,5	2,5	2,0	1,4	1,1	2,2	3,7	6,1	8,6	–	–

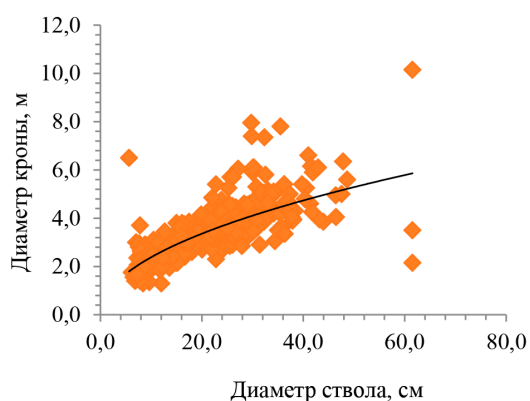
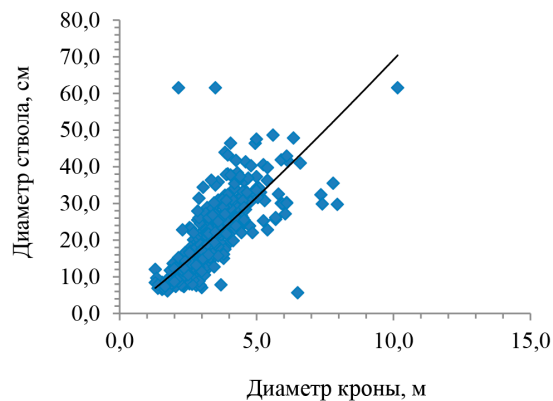
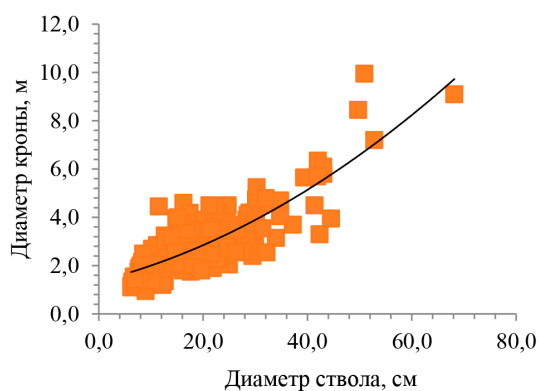
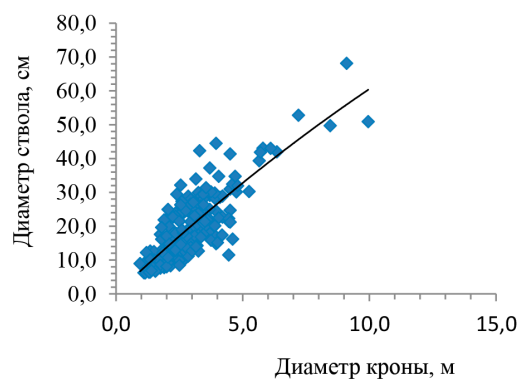
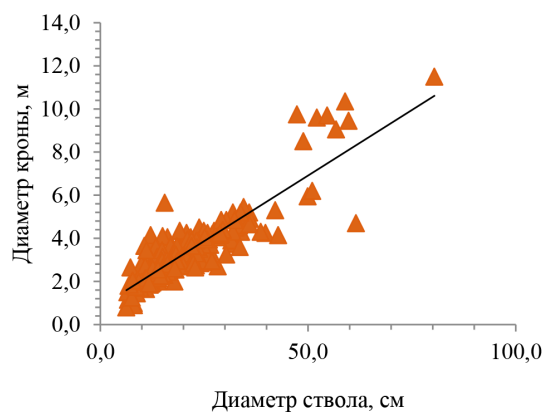
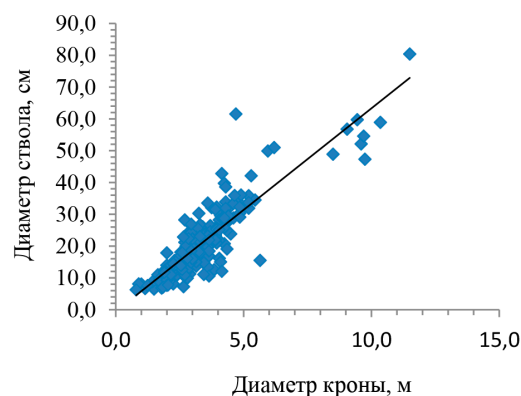
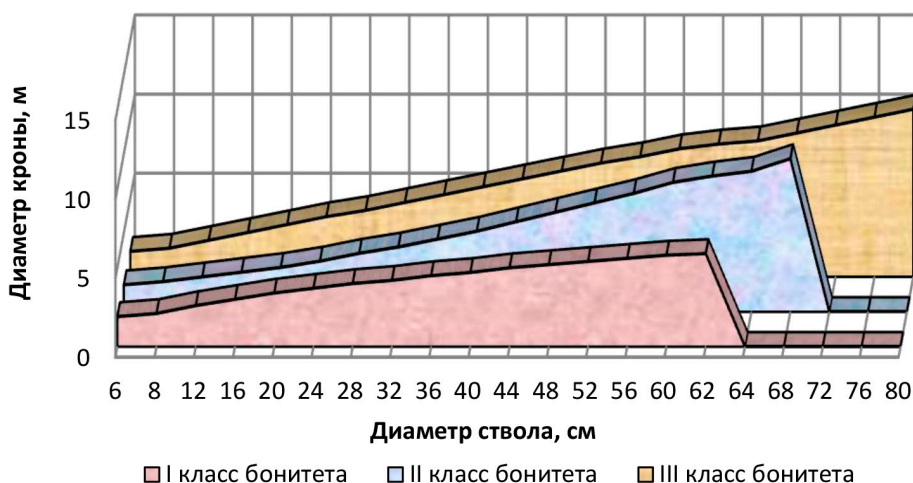
а) связь  $d_k = f(d_{1,3})$  для I-го класса бонитетаб) связь  $d_{1,3} = f(d_k)$  для I-го класса бонитетав) связь  $d_k = f(d_{1,3})$  для II-го класса бонитетаг) связь  $d_{1,3} = f(d_k)$  для II-го класса бонитетад) связь  $d_k = f(d_{1,3})$  для III-го класса бонитетае) связь  $d_{1,3} = f(d_k)$  для III-го класса бонитета

Рис. 2. Регрессионная связь диаметров стволов и диаметров крон сосны разных классов бонитета

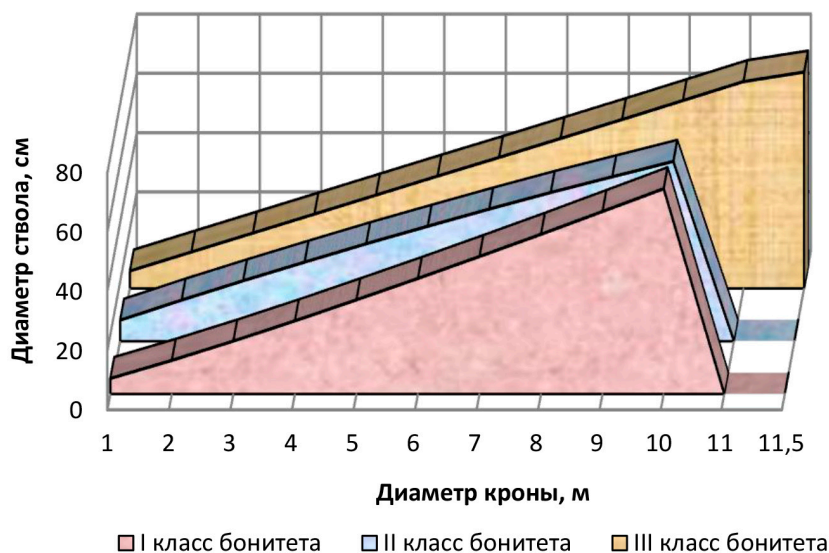
Развитие крон деревьев разных ступеней толщины и по классам бонитета происходит разнонаправленно и зависит от того, в какой части высоты вертикального полога развивается крона (рис. 3, А). При этом

динамика размера ствола дерева вне зависимости от качества условий местопрорастания (класса бонитета) соответствует одной закономерности (угол наклона мало-вариабилен) (рис. 3, Б).





А) Соотношение размера кроны и ствола для связи  $d_k = f(d_{1,3})$



Б) Соотношение размера ствола и кроны для связи  $d_{1,3} = f(d_k)$

Рис. 3. Динамика изменения диаметров кроны и стволов в зависимости от размера деревьев по диаметру стволов и кроны с учетом классов бонитета

На этом основании и по причине особой важности связи  $d_{1,3} = f(d_k)$  с точки зрения дешифровочных работ указанная связь линеаризована с помощью процедуры логарифмирования. Результаты представлены в табл. 6.

Все уравнения имели линейную форму после логарифмирования. Показатели детерминации менялись от 0,53 до 0,85. При этом все коэффициенты уравнений являлись значимыми ( $p < 0,05$ ).

Основное внимание уделялось коэффициенту  $a$ , который в данном случае показы-

вает угол наклона прямой линии. По данному показателю значительно отличались три лесных участка (51-12: 1,971; 51-10: 1,710; 50-20: 1,813).

Установлено, что данные три участка относятся к I классу бонитета и характерны для сосняков зеленомошного типа леса.

Все остальные коэффициенты варьировали в следующих пределах 0,869–1,314.

Диаграмма рис. 4 указывает на практически одинаковый угол наклона линий и близость прямых друг к другу.

Таблица 6

Параметры уравнения  $Lnd_{1,3} = a * Lndk + b$

Номер квартала	Номер выдела	Вид уравнения	Коэффициент детерминации	Уровень значимости
43	13	$Lnd_{1,3} = 1,088 * Lndk + 1,6307$	0,80	Все коэффициенты линейного уравнения значимы при $p < 0,05$
43	14	$Lnd_{1,3} = 0,869 * Lndk + 2,0213$	0,53	
43	15	$Lnd_{1,3} = 1,039 * Lndk + 1,6745$	0,75	
51	12	$Lnd_{1,3} = 1,971 * Lndk + 0,6149$	0,54	
51	11	$Lnd_{1,3} = 1,114 * Lndk + 1,4779$	0,66	
51	10	$Lnd_{1,3} = 1,720 * Lndk + 0,7363$	0,81	
42	17	$Lnd_{1,3} = 1,206 * Lndk + 1,689$	0,79	
42	18	$Lnd_{1,3} = 1,078 * Lndk + 1,7301$	0,66	
42	19	$Lnd_{1,3} = 1,022 * Lndk + 1,9538$	0,64	
42	21	$Lnd_{1,3} = 1,031 * Lndk + 1,7896$	0,71	
41	18	$Lnd_{1,3} = 0,999 * Lndk + 1,8771$	0,71	
50	19	$Lnd_{1,3} = 1,314 * Lndk + 1,4714$	0,71	
50	20	$Lnd_{1,3} = 1,813 * Lndk + 0,8949$	0,81	
50	27	$Lnd_{1,3} = 1,306 * Lndk + 1,4528$	0,85	

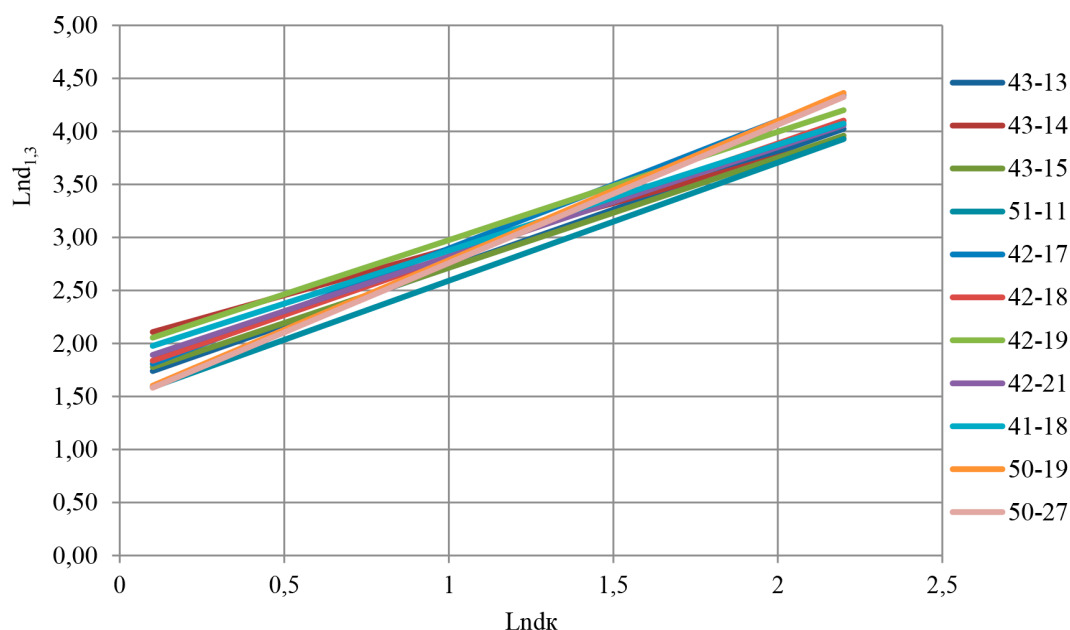


Рис. 4. Линии связи логарифма диаметров стволов и диаметров кроны на лесных участках

### Выводы

В результате выполненных исследований получены следующие выводы.

– Согласно шкале Пирсона, связь между радиусами кроны по сторонам света менялась от умеренной (0,34) до очень тесной (0,94). По отдельным лесным участкам мак-

симально тесная связь установлена в различных сторонах света. Оценка радиусов по классам бонитета показала, что различий кроны с учетом качества условий местопрорастания не наблюдалось.

– Теснота связи между диаметрами стволов и диаметрами кроны менялась от 0,64 до 0,90 (от значительной до тесной связи).

Результаты позволяют выполнить моделирование данных морфологических признаков. По классам бонитета в сосняках III класса бонитета выявлена более высокая по тесноте связь в сравнении с I и II классами бонитета.

– Составлены уравнения для вычисления диаметров крон и диаметров стволов на высоте груди. Коэффициенты детерминации моделей менялись от 0,54 до 0,89. Все уравнения адекватны и достоверны.

– Разработан ряд нормативов по определению диаметров стволов на высоте груди и диаметров крон деревьев для сосняков I, II, III-го классов бонитета в условиях подтаежно-лесостепного района Средней Сибири.

– Линеаризация изучаемых связей показала, что для всех сосняков применительно к прямым линиям регрессии характерен одинаковый угол наклона и близость прямых друг к другу, кроме сосняков зеленомошного типа леса I класса бонитета, где различия линий являются выраженными.

Таким образом, можно констатировать, что в перегущенных сосняках вне зависимости от качества условий местопроизрастания соотношение между диаметрами стволов и диаметрами крон имеют определенную схожесть в угле наклона и близости линий, с некоторым исключением для сосняков I класса бонитета зеленомошного типа леса.

#### Список литературы

1. Толкач И.В., Бахур О.С. Измерительное дешифрирование и оценка таксационных показателей сосновых древостоев по цифровым снимкам сверхвысокого разрешения // Труды БГТУ. 2014. № 1 (165). С. 48–51.
2. Богданов А.П., Алешко Р.А., Ильинцев А.С. Выявление взаимосвязи диаметра крон деревьев с различными таксационными показателями в северо-таежном лесном районе // Вопросы лесной науки. 2019. Т. 2, № 4. С. 1–10. DOI: 10.31509/2658-607x-2019-2-4-1-10.
3. Абаева К.Т., Кобабаева А.А. Дендрометрические исследования строения полога сосновых древостоев ленточных боров Прииртышья // Климат, экология, сельское

хозяйство Евразии: материалы III международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию образования ИрГСХА (Иркутск, 29–31 мая 2014 г.). Иркутск: Иркутская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. С. 257–266.

4. Рьельский И.А. Подходы к определению таксационных показателей леса с использованием аэрокосмических снимков и лазерного сканирования // Дистанционные методы исследования Земли. 2018. Т. 24, № 2. С. 216–240. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-2-24-216-240.

5. Лебедев А.В. Применение регрессионных моделей смешанных эффектов для изучения связи биометрических показателей деревьев // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2021. № 59. С. 150–153.

6. Sánchez-González M., Cañellas I., Montero G. Generalized height-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forests in Spain // Invest. Agrar.: Sist. Recur. For. 2007. № 1 (16). P. 76–88.

7. Штрахов А.С., Жирнова К.А., Иваныш А.В., Ядрышников Ф.М., Митрофанов Е.М. Оценка зависимости площади проекции крон с их диаметром на высоте груди // Славянский форум. 2020. № 4 (30). С. 465–474.

8. Шавнин С.А., Овчинников И.С., Монтиле А.А., Голиков Д.Ю. Оценка формы ствола и кроны сосны обыкновенной по комплексу морфологических признаков // Лесоведение. 2019. № 1. С. 64–74. DOI: 10.1134/S0024114818060074.

9. Бахур О.С., Толкач И.В. Система обработки данных измерительного дешифрирования чистых сосновых древостоев IA–II классов бонитета // Труды БГТУ. 2015. № 1 (174). С. 8–11.

10. Старцев А.И. Фитомасса компонентов крон деревьев березы в древостоях Нижегородской области // Лесоводство Нижегородской области на рубеже веков: сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции (Нижегород, 17–21 мая 2004 г.). Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2004. С. 180–186.

11. Богданов А.П., Алешко Р.А., Шошина К.В. Особенности дешифрирования березово-еловых древостоев с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в условиях северо-таежного лесного района // Подготовка кадров в условиях перехода на инновационный путь развития лесного хозяйства: научно-практическая конференция (Воронеж, 21–22 октября 2021 г.). Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. С. 118–122.

12. Дерюгин А.А., Глазунов Ю.Б. Функциональные связи морфометрических характеристик деревьев ели подпологовой популяции в березняках южной тайги // Лесоведение и лесоводство. 2021. № 2. С. 20–28. DOI: 10.24419/LNI.2304-3083.2021.2.02.

13. Лакин Г.Ф. Биометрия: учеб. пособие для биол. специальностей ун-тов и пед. ин-тов. М., 1968. 287 с.