



ИД «Академия Естествознания»

# УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 4 2024



# ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 4 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 *Кавецкий 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.В.* (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. *Луговойской 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. *Шиншелова Т.И.* (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. *Шузунов Л.Ж.* (Нальчик); д.г.-м.н., проф. *Юргенсон Г.А.* (Чита); д.г.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

27.04.2024

Дата выхода номера

31.05.2024

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

15,75

Тираж

1000 экз.

Заказ

УСЕ 2024/4

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.* (Vologograd); 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 *Kuzuyakov 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
Signed for print	27.04.2024
Format	60x90 1/8
Circulation	1000 copies
Telephone	+7 (499) 705-72-30
Number issue date	31.05.2024
Conditionally printed sheets	15,75
Order	YCE 2024/4

Distribution at a free price

Subscription index in the Russian Post electronic catalog: P7816

© LLC PH Academy of Natural History

## СОДЕРЖАНИЕ

### Сельскохозяйственные науки (4.1.1. Общее земледелие и растениеводство)

#### СТАТЬЯ

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ  
РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ САЛАТА

*Долгих П.П., Трепуз С.В., Град Э.Я., Солохина Е.Ю., Сенкевич О.В., Хусенов Г.Н.* .....8

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

#### СТАТЬЯ

К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ  
ЛЕСНОГО ФОНДА

*Чжан С.А., Пузанова О.А., Пузанов С.А.* .....15

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

#### СТАТЬИ

К ВОПРОСУ О ПРОЦЕССАХ САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ  
ЛАНДШАФТНЫХ КОМПЛЕКСОВ, НАХОДЯЩИХСЯ НА СТАДИИ  
ПОСТАНТРОПОГЕННОГО РАЗВИТИЯ

*Алексеев И.А.* .....22

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ СЕЛЕПРОЯВЛЕНИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЧЕРЕК  
БЕЗЕНГИЙСКИЙ

*Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.О., Калов Р.Х., Шагин С.И.* .....28

ОПЫТ РЕКРЕАЦИОННОГО РАЙОНИРОВАНИЯ КРАСНОДАРСКОГО  
КРАЯ ПО ТИПУ ВОДНОГО ТУРИЗМА

*Голубятникова Е.В.* .....34

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЙ ТУРИСТСКИЙ БРЕНДИНГ

*Максимов Д.В., Волкова Т.А., Миненкова В.В., Рыжвилова Э.А.* .....40

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ СТЕПНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОГО  
КАЗАХСТАНА И СОПРЕДЕЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ  
ПО УСЛОВИЯМ ТЕПЛО- И ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ

*Мезенцева О.В., Кусаинова А.А., Тусупбеков Ж.А.* .....50

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
ГИПСА НА СОСТАВ ПРИРОДНЫХ ВОД

*Наход В.А., Малов А.И., Дружинин С.В.* .....56

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА  
НА МЕТЕОСТАНЦИЯХ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ ЗА ПЕРИОД  
С 2015 ПО 2022 ГОДЫ

*Шелганова А.А., Майорова Л.П., Гладун И.В.* .....64

---

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

СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ДИАТОМИТОМ ОТ ИОНОВ ЦИНКА <i>Агейкина О.В., Голянская С.А., Качалова Г.С.</i> .....	71
ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕКРЕАЦИОННОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ХАРБАЛАХСКОГО РАЗРЕЗА <i>Заровняев Б.Н., Антоева С.П., Попов В.Н., Федоров А.А.</i> .....	79
ПРОЯВЛЕНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН <i>Исмагилов К.Р., Исмагилов Р.Р., Русаков И.А.</i> .....	85
РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА И СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ ПОРФИРОВЫХ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД <i>Яковлева Т.А., Ромашев А.О., Машевский Г.Н.</i> .....	92

**НАУЧНЫЙ ОБЗОР**

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ РУДОПОДГОТОВКИ КОМПЛЕКСНЫХ МЕДНЫХ РУД <i>Каллаев И.Т., Струк Г.В., Николаева Н.В.</i> .....	101
---	-----

**Физико-математические науки (1.6.22)**
**СТАТЬЯ**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕЙ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ВМЕСТО ТРАДИЦИОННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ <i>Макаров С.О., Тихонов А.Д., Рудченко Г.А.</i> .....	113
--	-----

**Биологические науки (1.5.20)**
**СТАТЬЯ**

МОНИТОРИНГ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО РЕЗЕРВАТА «АКЖАЙЫК» <i>Есенаманова Ж.С., Ажигалиева Ж.Б., Шунашева Ж.А., Есенаманова М.С., Тепбергенава А.Е., Рысжан А.Е.</i> .....	118
---	-----

## CONTENTS

### **Agricultural Sciences (4.1.1. General Agriculture and Plant Growing)**

#### **ARTICLE**

INFLUENCE OF ELECTROTECHNOLOGICAL IRRADIATION  
PARAMETERS ON THE EFFICIENCY OF GROWING DIFFERENT  
VARIETIES OF LETTUCES

*Dolgikh P.P., Trepuz S.V., Grad E.Ya., Solokhina E.Yu., Senkevich O.V., Khuseinov G.N.* .....8

### **Agricultural sciences (4.1.6. Forestry, forestry, forest crops, agroforestry improvement, greening, forest pyrology and taxation)**

#### **ARTICLE**

ON THE ISSUE OF STUDYING THE CURRENT STATE FOREST FUND

*Chzhan S.A., Puzanova O.A., Puzanov C.A.* .....15

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

#### **ARTICLES**

ON THE PROCESSES OF SELF-RESTORATION OF THE STRUCTURE  
OF LANDSCAPE COMPLEXES AT THE STAGE OF POST-ANTHROPOGENIC  
DEVELOPMENT

*Alekseev I.A.* .....22

EXTREME DEBRIS FLOWS IN THE CHEREK BEZENGIYSKY RIVER BASIN

*Bekkiev M.Yu., Dokukin M.D., Kalov R.O., Kalov R.Kh., Shagin S.I.* .....28

THE EXPERIENCE OF RECREATIONAL ZONING OF THE KRASNODAR  
TERRITORY BY TYPE OF WATER TOURISM

*Golubyatnikova E.V.* .....34

TERRITORIAL TOURIST BRANDING

*Maksimov D.V., Volkova T.A., Minenkova V.V., Ryzhivolova E.A.* .....40

ZONING OF THE TERRITORY OF THE STEPPE ZONE OF NORTHERN  
KAZAKHSTAN AND THE ADJACENT TERRITORY OF RUSSIA  
ACCORDING TO THE CONDITIONS OF HEAT AND MOISTURE SUPPLY

*Mezentseva O.V., Kusainova A.A., Tusupbekov Zh.A.* .....50

STUDY OF THE IMPACT OF GYPSUM DEPOSIT DEVELOPMENT  
ON THE COMPOSITION OF NATURAL WATERS

*Nakhod V.A., Malov A.I., Druzhinin S.V.* .....56

CHANGES IN THE CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW COVER  
AT WEATHER STATIONS OF THE Khabarovsk REGION  
FOR THE PERIOD FROM 2015 TO 2022

*Shelganova A.A., Mayorova L.P., Gladun I.V.* .....64

---

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

- SORPTION TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER FROM ZINC IONS BY DIATOMITE  
*Ageykina O.V., Golyanskaya S.A., Kachalova G.S.* ..... 71
- GEOTECHNOLOGICAL FOUNDATIONS OF RECREATIONAL RECLAMATION OF THE KHARBALAKH QUARRY  
*Zarovnyaev B.N., Antoeva S.P., Popov V.N., Fedorov A.A.* ..... 79
- MANIFESTATION OF GLOBAL CHANGE OF AGROCLIMATIC RESOURCES ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN  
*Ismagilov K.R., Ismagilov R.R., Rusakov I.A.* ..... 85
- DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL APPROACH AND METHODS FOR REGULATING THE FLOTATION PROCESS OF PORPHYRY COPPER-MOLYBDENUM ORES  
*Yakovleva T.A., Romashev A.O., Mashevskiy G.N.* ..... 92
- REVIEW**
- CURRENT TRENDS IN ORE PREPARATION OF COMPLEX COPPER ORES  
*Kallaev I.T., Struk G.V., Nikolaeva N.V.* ..... 101

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

- USING NETWORKS OF PERMANENT BASE STATIONS INSTEAD OF TRADITIONAL GEODETIC NETWORKS  
*Makarov S.O., Tikhonov A.D., Rudchenko G.A.* ..... 113

**Biological Sciences (1.5.20)**
**ARTICLE**

- MONITORING OF THE BIODIVERSITY OF THE ECOSYSTEM OF THE "AKZHAYYK" STATE NATURAL RESERVE  
*Esenamanova Zh.S., Azhigalieva Zh.B., Shunasheva Zh.A., Esenamanova M.S., Tlepbergenova A.E., Ryszhan A.E.* ..... 118

## СТАТЬЯ

УДК 635.52:621.321  
DOI 10.17513/use.38242

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ САЛАТА

<sup>1</sup>Долгих П.П., <sup>2</sup>Трепуз С.В., <sup>1</sup>Град Э.Я., <sup>1</sup>Солохина Е.Ю., <sup>3</sup>Сенкевич О.В., <sup>4</sup>Хусенов Г.Н.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»,  
Ачинский филиал, Ачинск, e-mail: dpp10@yandex.ru;

<sup>2</sup>ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики», Красноярск, e-mail: strepuz@mhd.center;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Министерства здравоохранения  
Российской Федерации, Красноярск, e-mail: senk-olesya@mail.ru;

<sup>4</sup>ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск,  
e-mail: husenov1987@inbox.ru

**Аннотация.** В статье представлены технические решения по повышению эффективности выращивания растений в компактных установках с использованием искусственного облучения. Рассматривается регуляторная роль излучения в области фотосинтетически активной радиации, осуществляемая через воздействие на систему пигментов путем управления спектральными характеристиками облучателя. Целью исследований являлась разработка технологии светодиодной досветки с различным спектральным составом излучения для выращивания салата в вегетационных установках. Были применены методы моделирования светодиодных модулей путем привязки их к спектру поглощения хлорофиллов А и В, к функции спектральной чувствительности растений по К.Д. МсКри, к функции спектрального распределения интенсивности рассеянного солнечного излучения. Для оценки накопления макро- и микроэлементов в зависимости от спектрального состава излучения были применены методики биохимического анализа. Получены результаты фотобиологических исследований по продуктивности салата, выращенного в условиях вегетационной установки с облучением светодиодными излучающими модулями, созданными по технологии «синий + красный» спектр в комбинации со светодиодами белого света в различном соотношении. Было установлено, что применение облучателей с более ровным спектром излучения, с приблизительным процентным соотношением синий – 30, белый – 30, красный – 40 дает значительное увеличение урожайности (8–15%) для салатов сортов Крилда и Ауфона, по сравнению с другими технологиями. Определена реакция растений по показателям накопления макро- и микроэлементов в зависимости от сорта, позволившая установить в качестве оптимальных технологических параметров светодиодной досветки излучение в функции спектрального распределения интенсивности рассеянного солнечного излучения, при норме облученности 160 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с) и комбинации фотопериода свет/темнота – 16/8 ч.

**Ключевые слова:** вегетационная установка, технологии облучения, светодиодные облучатели, спектральный состав излучения, урожайность, качество растениеводческой продукции

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Краевого фонда науки в рамках научного проекта «Разработка системы автоматизированного управления процессом выращивания растений в защищенном грунте для северных территорий».*

## INFLUENCE OF ELECTROTECHNOLOGICAL IRRADIATION PARAMETERS ON THE EFFICIENCY OF GROWING DIFFERENT VARIETIES OF LETTUCES

<sup>1</sup>Dolgikh P.P., <sup>2</sup>Trepuz S.V., <sup>1</sup>Grad E.Ya., <sup>1</sup>Solokhina E.Yu., <sup>3</sup>Senkevich O.V., <sup>4</sup>Khusenov G.N.

<sup>1</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Achinsk branch, Achinsk, e-mail: dpp10@yandex.ru;

<sup>2</sup>LLC RPC Magnetic Hydrodynamics, Krasnoyarsk, e-mail: strepuz@mhd.center;

<sup>3</sup>Krasnoyarsk State Medical University of Ministry of Health Care of the Russian Federation,  
Krasnoyarsk, e-mail: senk-olesya@mail.ru;

<sup>4</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, e-mail: husenov1987@inbox.ru

**Annotation.** The paper presents technical solutions to increase the efficiency of growing plants in compact installations using artificial irradiation. The regulatory role of radiation in the field of photosynthetically active radiation carried out through the effect on the pigment system by controlling the spectral characteristics of the irradiator was considered. The purpose of the research was to develop a technology of LED illumination with different spectral composition of radiation for growing lettuce in vegetation plants. Methods of modeling LED modules were applied by linking them to the absorption spectrum of chlorophylls A and B, the spectral sensitivity function of plants according to K. J. McCree, and the spectral distribution function of the intensity of scattered solar radiation. To assess the accumulation of macro- and microelements depending on the spectral composition of radiation, methods of biochemical analysis were applied. We conducted photobiological studies on the productivity of lettuce grown in an installation with irradiation involving LED emitting modules created using the “blue+red” spectrum technology in combination with white light LEDs in different ratios. As a result, we found that the use of irradiators with a more even radiation spectrum with an approximate percentage ratio of blue – 30, white – 30,



red – 40 gives a significant increase in yield (8%–5%) for salads of Krylda and Auvona varieties, compared with other technologies. The reaction of plants according to the indicators of accumulation of macro-and microelements depending on the variety was determined to establish radiation as a function of the spectral distribution of the intensity of scattered solar radiation as optimal technological parameters of supplementary LED lighting, with an irradiation rate of 160 mmol/(m<sup>2</sup>·s) and a combination of light/dark photoperiod – 16/8 hours.

**Keywords:** vegetation plant, irradiation technologies, LED irradiators, spectral composition of radiation, yield, quality of plant products

*The research was carried out with the financial support of the Regional Science Foundation within the framework of the scientific project “Development of an automated control system for the process of growing plants in protected soil for the northern territories”.*

Тепличная промышленность постоянно разрабатывает новые стратегии и технологии для увеличения урожайности, снижения любого связанного с этим негативного воздействия на окружающую среду и адаптации к новым требованиям рынка. Поэтому технологии беспочвенного выращивания, автоматический контроль над факторами, которые составляют микроклимат внутри теплицы, создание вертикальных агроэкосистем, которые могут быть расположены в городской среде, и другие перспективные направления находятся в постоянном развитии. Основным оборудованием в данных технологиях являются облучательные установки с высокой эффективностью в области фотосинтетически активной радиации (ФАР) и возможностью динамического регулирования характеристик [1].

На сегодня технологии управления спектром с помощью светодиодных облучателей учитывают в основном низкоэнергетическую реакцию вспомогательных фотопигментов растений [2]. Притом за основу принимаются две основные стратегии формирования спектра фитосветильника: учет целевого спектра поглощения хлорофиллов А и В [3, 4] или использование в качестве целевой функции спектральной чувствительности растений по К.Дж. МакКри [5]. Затем в результате фотобиологических исследований получают световые кривые по накоплению хозяйственно полезной биомассы фитоценозами.

Авторами была разработана технология светодиодной досветки зеленных культур, в которой устранены указанные недостатки. Основные отличия заключаются в том, что первоначально моделируются в программном приложении светодиодные модули с различным спектром излучения, привязывая их к спектру поглощения хлорофиллов А и В, к функции спектральной чувствительности растений по К.Дж. МакКри, к функции спектрального распределения интенсивности рассеянного солнечного излучения. Затем на их базе создаются облу-

чатели с определенным фотосинтетическим потоком фотонов; после этого в результате фотобиологического эксперимента определяются целевые технологические параметры выращивания и наконец формируются требования к спектру источников ОИ для конкретного сорта растения [6].

Цель исследования – разработка технологии светодиодной досветки с различным спектральным составом излучения для выращивания салата в вегетационных установках.

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

Для начала, на основе анализа энергетических и биологических основ светодиодной досветки, оценивались существующие стратегии формирования спектра фитосветильников. Затем разрабатывался программный продукт, и на его основе, применяя методы моделирования, формировался ряд светодиодных модулей путем привязки к спектру поглощения хлорофиллов А и В, к функции спектральной чувствительности растений по К.Дж. МакКри, к функции спектрального распределения интенсивности рассеянного солнечного излучения [6]. Далее эмпирическим путем выявлялись, с учетом видовых особенностей растений, существенные различия в их реакции на спектральный состав воздействующего излучения [1]. В конечном итоге разрабатывались практические рекомендации по применению результатов исследования и описывались перспективы дальнейших исследований.

Авторами был разработан в приложении Excel калькулятор, позволяющий моделировать светодиодные модули. Калькулятор содержит три основных окна (рис. 1).

Работа калькулятора происходит по следующей схеме. Сначала задается световой поток, например 3666 лм, который с помощью встроенной функции фотосинтезного потока переводит его в поток ФАР. Если излучение белого цвета, то значение потока будет равно 11,8 Вт. На рис. 1, б, будет отображена кривая, показывающая спектр данного излучения.

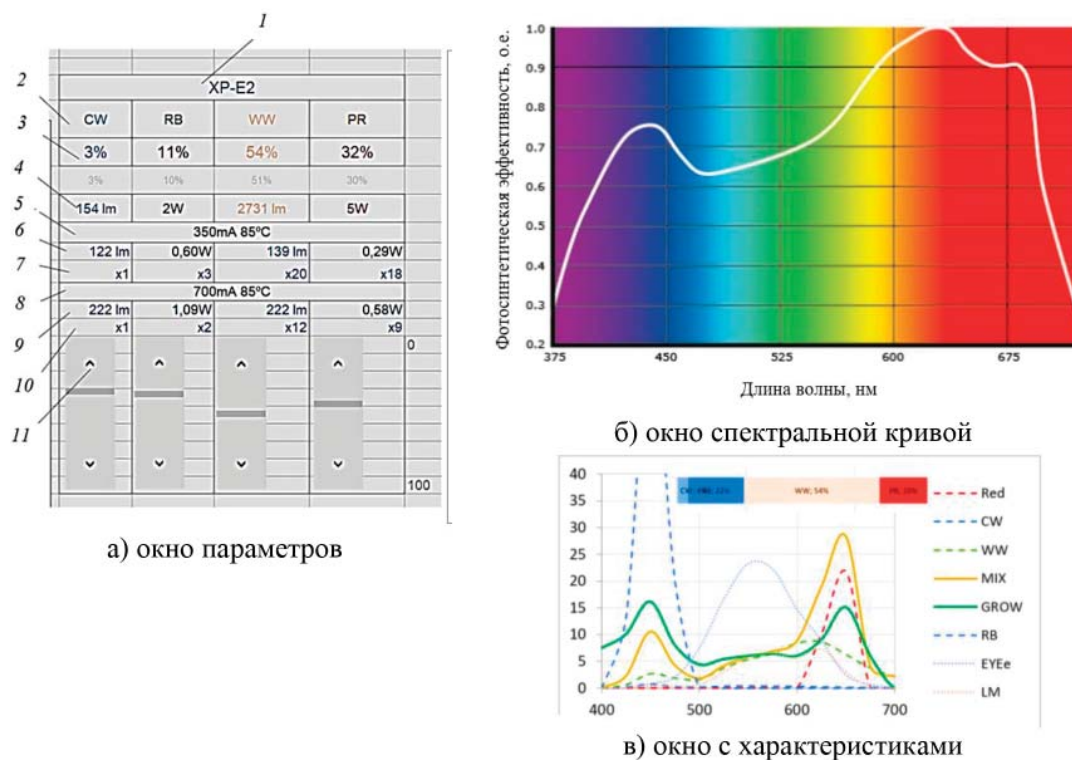


Рис. 1. Рабочие окна калькулятора светодиодного облучателя: 1 – марка светодиода; 2 – цвет излучения; 3 – процент в общем излучении; 4 – поток по бину; 5 – ток 350 мА; 6 – значение потока при токе 350 мА; 7 – количество светодиодов в бине при токе 350 мА; 8 – ток 700 мА; 9 – значение потока при токе 700 мА; 10 – количество светодиодов в бине при токе 700 мА; 11 – ползунок для регулирования параметров

На рис. 1, в, кривые «синего» и «красно-го» излучений не будут иметь явных пиков, а будут показывать только содержание синей и красной составляющей в белом излучении. Поток по бину 4 будет показывать значение 3666 лм. Чтобы промоделировать излучение, близкое по своему спектральному составу, например, к кривой синтеза хлорофилла, необходимо, управляя ползунками 11, отслеживать по рис. 1, б, профиль этой кривой, приближая его к стандартному значению. При этом в позициях 3, 4, 6, 7, 9, 10 (рис. 1, а) будут отображаться все составляющие потока излучения, а также характеристики модуля. При этом видно, что управлять потоками излучения можно, регулируя ток на светодиодных платах. Данные характеристики показаны наглядно на рис. 1, в, отображая отдельно «синий» и «красный» пики, кривую спектральной чувствительности глаза человека, кривую спектрального распределения интенсивности рассеянного солнечного излучения, общую спектральную характеристику излучающего модуля.

Далее авторами был проведен эксперимент в вегетационной установке, конструк-

ция которой представлена на рис. 2. За основу была приняты разработанные и описанные в работах [7–10] технические решения.

Вегетационная установка имеет каркас с боковыми стенками, полки, образуя рабочие камеры для выращивания, в каждой из которых на полках зафиксированы источники облучения, соединенные посредством проводов со щитом управления. Также имеются стеллажи с помещенными на них растениями в горшках. К каждому стеллажу присоединены одним концом гибкие поливочные шланги, другой конец которых помещен в подающий трубопровод, соединенный с емкостью для питательного раствора. Рабочие камеры для выращивания имеют общий воздухопровод с вентилятором, закрепленный к каркасу.

Целью эксперимента было исследование влияния различных спектров светодиодной досветки на урожайность и показатели накопления макро- и микроэлементов салата сортов Крилда и Ауфона.

Содержание макро- и микроэлементов определено в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ ГЦАС «Красноярский» общепринятыми методиками.

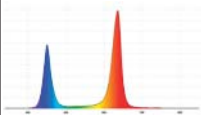
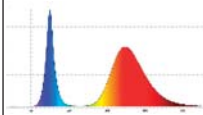
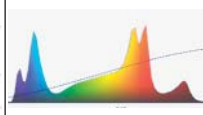
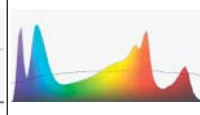
**Результаты исследования  
и их обсуждение**

В таблице представлены результаты моделирования трех типов светодиодных модулей по технологии «синий + красный» спектр в комбинации со светодиодами белого света, на базе которых сконструированы облучатели. Облучатель 1 (с целевым спектром поглощения хлорофилла А), облучатель 2 (с излучением, совпадающим

с функцией спектральной чувствительности растений по К.Д. МсСтея), облучатель 3 (с функцией спектрального распределения интенсивности рассеянного солнечного излучения) [2].

Из таблицы видно, что при сопоставимой мощности облучателей, но различном соотношении излучения в отдельных областях ФАР, величина фотосинтетического фотонного потока увеличивается при более равномерном заполнении спектра.

Характеристики светодиодных облучателей

Показатель	Облучатель 1	Облучатель 2	Облучатель 3	Облучатель 4
Фотосинтетический фотонный поток РРФ, мкмоль/с	106,47	105,6	153	151
Световой поток F, лм	3402	2320	6496	6065
Мощность P, Вт	92	110	92	94
Соотношение излучения в отдельных областях ФАР: синий, белый, красный, %	20–20–60	5–70–25	25–25–50	30–30–40
Спектр излучения				

Источник: составлено авторами.

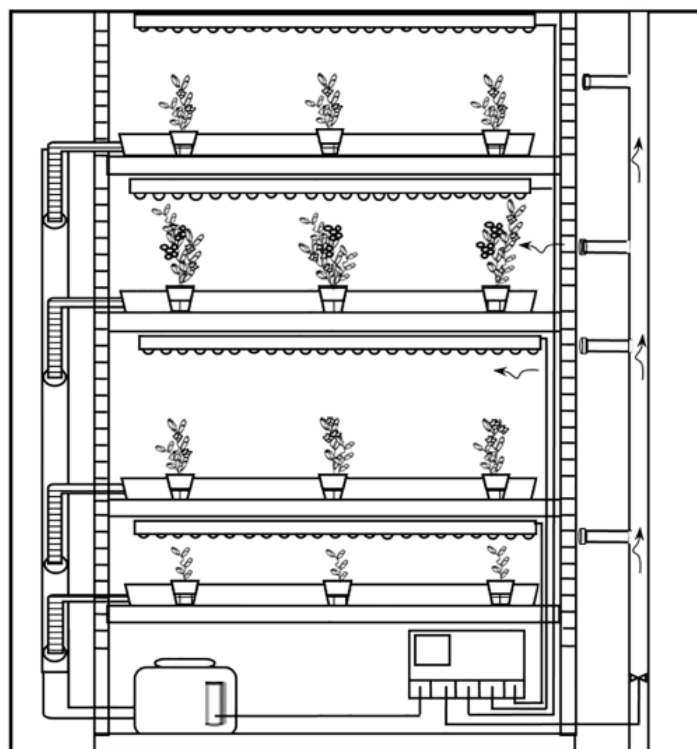


Рис. 2. Вегетационная установка

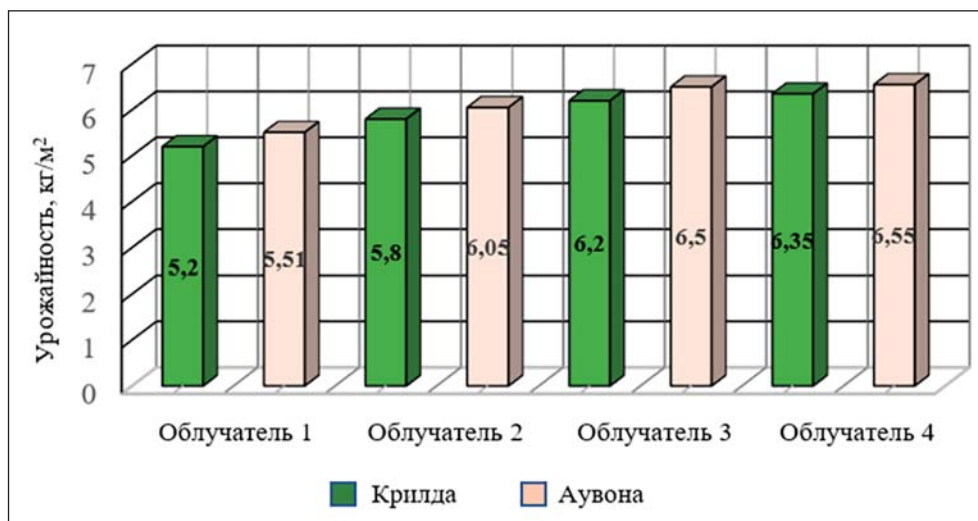


Рис. 3. Результаты по урожайности

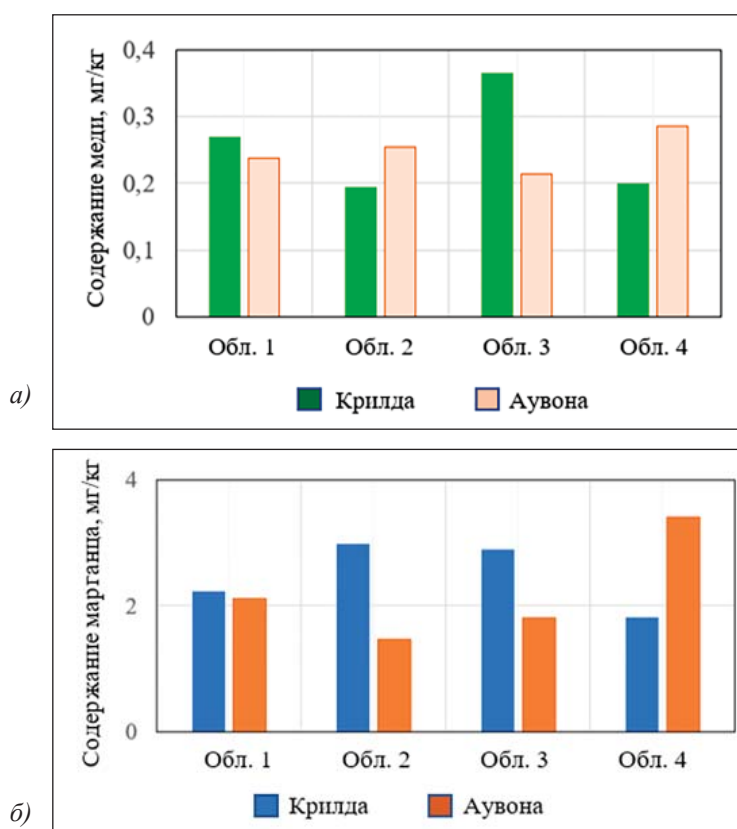


Рис. 4. Результаты биохимического анализа по показателям накопления: а) меди; б) марганца

Результаты фотобиологических исследований по урожайности представлены на рис. 3. Из рис. 3 видно, что при равной облученности, создаваемой облучателями, максимальная урожайность достигается под облучателем, имеющим спектр, близкий к функции спектрального распределения интенсивности рас-

сеянного солнечного излучения и принимает значение для салата сорта Крида 6,35 кг/м<sup>2</sup>, для Аувола – 6,44 кг/м<sup>2</sup>. На рис. 4 приводятся результаты биохимического анализа по показателям накопления меди и марганца; на рис. 5 – результаты по показателям накопления азота, фосфора, натрия и кальция.

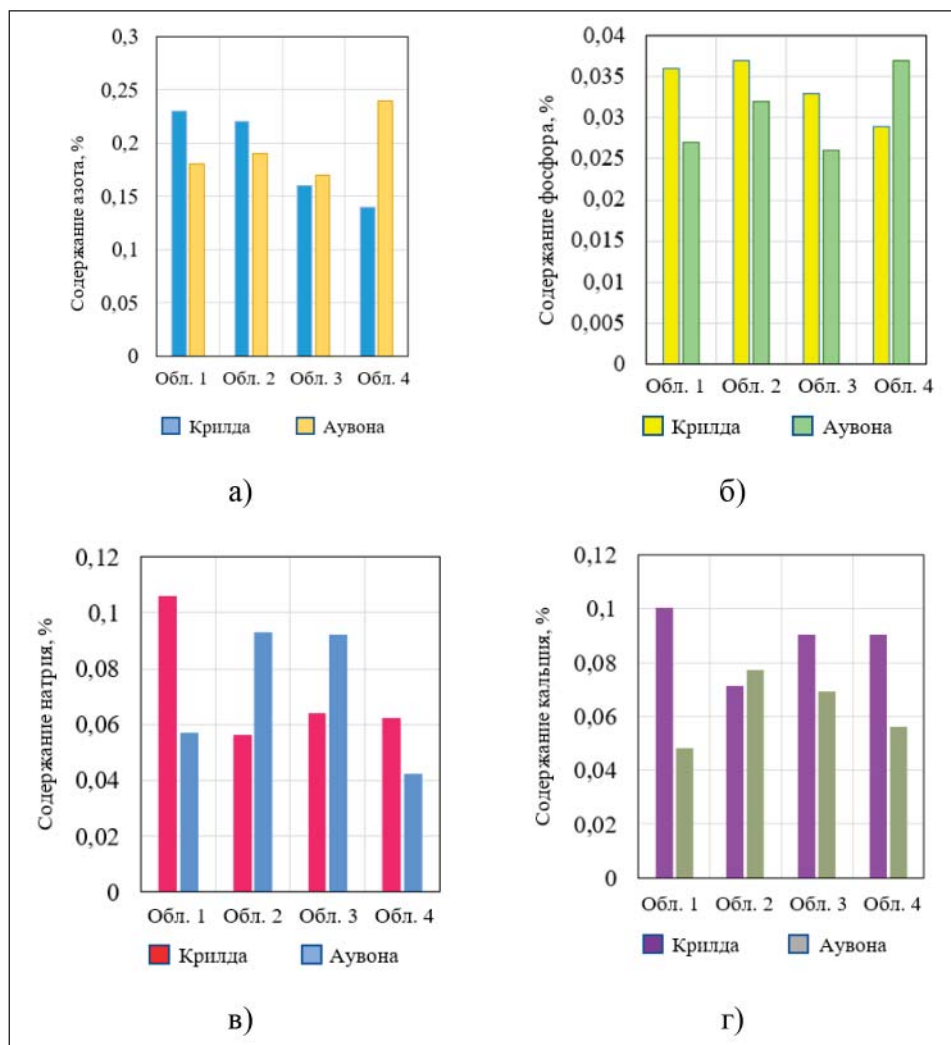


Рис. 5. Результаты биохимического анализа по показателям накопления; а) азота; б) фосфора; в) натрия; г) кальция

Как видно из рис. 4, спектральный состав излучения по-разному влияет на накопление меди и марганца. Заметно также, что накопление данных металлов зависит от сорта салата. Так, максимальное количество меди 0,37 мг/кг будут содержать растения салата сорта Крилда, выращенные под облучателем, с процентным соотношением излучения в отдельных областях ФАР, %: 25–25–50. Максимальное содержание марганца 3,4 мг/кг наблюдается у сорта Аувона под облучателем с ФАР, %: 30–30–40.

Из рис. 5 видно, что реакция растений на накопление представленных веществ неоднозначная. Максимальное накопление натрия происходит у растений салата сорта Крилда при облучении с целевым спектром поглощения хлорофилла А, тогда как максимальные показатели накопления азота

замечаются у сорта Аувона, при облучении спектром, близким к функции спектрального распределения интенсивности рассеянного солнечного излучения.

### Заключение

Были смоделированы четыре типа светодиодных модулей с различным соотношением излучения в отдельных областях спектра ФАР (с–з–к): для облучателя 1 (20–20–40), для облучателя 2 (5–70–25), для облучателя 3 (25–25–50), для облучателя 4 (30–30–40), что дало возможность провести разноплановый фотобиологический эксперимент.

В ходе проведенных исследований было установлено, что путем регулирования технологических параметров светодиодной досветки возможно не только обеспечить высокую продуктивность растений,

но и направленно влиять на качество продукции, в частности регулировать накопление макро- и микроэлементов в зеленых культурах.

Технология облучения, в которой используется излучение в функции спектрального распределения интенсивности рассеянного солнечного излучения, может применяться при выращивании растений в компактных установках. В них требуется объединение световой среды человека и растения, и предпочтительным является излучение, обеспечивающее не только потребности растения, но и зрительный комфорт человека. Однако для других видов и сортов растений результаты могут отличаться.

#### Список литературы

1. Долгих П.П., Трепуз С.В., Ханипова В.А., Сенкевич О.В. Результаты фотобиологических исследований по выращиванию салата под разноспектральными источниками излучения // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33, № 3. С. 435–451.
2. Прикупец Л.Б., Боос Г.В., Терехов В.Г., Тараканов И.Г. Оптимизация светотехнических параметров при светодневной культуре салатно-зеленных растений с использованием светодиодных излучателей // Светотехника. 2019. № 4. С. 6–13.
3. Сарычев Г.С. Облучательные светотехнические установки. М.: Энергоатомиздат, 1992. 240 с.
4. Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я. Спектральный состав света и продуктивность растений. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1991. 168 с.
5. McCree K.J. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants // *Agricultural Meteorology*. 1972. 9. P. 191–216. DOI: 10.1016/0002-1571(71)90022-7.
6. Долгих П.П. Новые подходы к повышению энергетической эффективности облучательных установок в светодневной культуре // Эпоха науки. 2021. № 27. С. 23–26.
7. Амерханов Р.А., Григораш О.В., Кириченко А.С., Антонов В.И., Армаганян Э.Г., Дворный В.В., Апиш М.И. Гидропонная установка // Патент РФ № 2714242. Патентообладатель: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина. 2020. Бюл. № 5.
8. Долгих П.П., Трепуз С.В. Устройство для выращивания растений // Патент РФ № 217964. Патентообладатель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет». 2023. Бюл. № 12.
9. Сапрыкин Л.Г., Гайдуков Е.Н., Сапрыкин Д.Л. Фитотрон // Патент РФ № 2557572. Патентообладатель ООО Научно-производственный центр «Лазеры и аппаратура ТМ». 2015. Бюл. № 21.
10. Ракутько С.А., Пацуков А.Э., Мишанов А.П. Климатическая установка // Патент РФ № 132309. Патентообладатель Государственное научное учреждение Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Россельхозакадемии. 2013. Бюл. № 26.

УДК 630\*2  
DOI 10.17513/use.38243

## К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСНОГО ФОНДА

Чжан С.А., Пузанова О.А., Пузанов С.А.

ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», Братск,  
e-mail: schzan@rambler.ru

**Аннотация.** Лес – это природная экосистема, выполняющая ряд функций, таких как средообразующая, природоохранная и социальная. Лесопользование является тем рычагом, который должен поддерживать и регулировать качественный потенциал лесов. Все рубки и мероприятия по охране и защите лесов должны быть направлены на равновесие систем самого леса и взаимодействие с другими внешними системами. Функциональная структура и состояние лесного фонда позволяют рассматривать перспективные направления в лесопользовании. В связи с этим изучение состояния лесного фонда позволяет правильно и рационально выделить направления в проведении всех лесохозяйственных мероприятий в лесах. Изменения в таксационных показателях, происходящие в последние годы в лесных массивах Сибири, свидетельствуют о том, что ведение лесного хозяйства не отвечает тем условиям, которые должны соблюдаться, не нарушая всего баланса в лесу с точки зрения экологического равновесия. В данной статье представлены результаты по пространственно-временной структуре лесных экосистем Приангарья. При использовании данных мониторинга лесов и анализа поведельной таксации лесных фитоценозов, на примере лесничеств Иркутской области, предложен комплекс мероприятий по повышению устойчивости и продуктивности.

**Ключевые слова:** лесной фонд, пространственно-временная структура, лесные экосистемы, устойчивость фитоценозов, продуктивность, лесопользование

## ON THE ISSUE OF STUDYING THE CURRENT STATE FOREST FUND

Chzhan S.A., Puzanova O.A., Puzanov S.A.

Brotherly State University, Bratsk, e-mail: schzan@rambler.ru

**Annotation.** A forest is a natural ecosystem that performs a number of functions, such as environmental, environmental and social. Forest management is the lever that should support and regulate the qualitative potential of forests. All logging and measures for the protection and protection of forests should be aimed at balancing the systems of the forest itself and interacting with other external systems. The functional structure and condition of the forest fund allow us to consider promising areas in forest management. In this regard, the study of the state of the forest fund makes it possible to correctly and rationally identify directions in carrying out all forestry activities in forests. Changes in taxation indicators occurring in recent years in the forests of Siberia indicate that forestry does not meet the conditions that must be met without disturbing the entire balance in the forest from the point of view of ecological balance. This article presents the results on the spatial and temporal structure of the forest ecosystems of the Angara region. Using data from forest monitoring and analysis of the average taxation of forest phytocenoses on the example of forestry in the Irkutsk region, a set of measures to increase sustainability and productivity is proposed.

**Keywords:** forest fund, spatial and temporal structure, forest ecosystems, stability of phytocenoses, productivity, forest management

Лесные массивы характеризуются взаимосоставляющими компонентами растительности, животных и условиями местообитания. По мнению Л.Н. Ващука и А.З. Швиденко [1], «динамика лесных пространств аккумулирует все природные и антропогенные воздействия на лес и в конечном итоге является зеркалом состояния лесов, особенностей функционирования лесных экосистем и основных тенденций их развития». Основным подходом в изучении вопросов, связанных с использованием лесных ресурсов, является принцип рационального и непрерывного лесопользования [2; 3].

Один из принципов ведения лесного хозяйства – принцип рационального и неистощительного использования лесов. Это за-

висит от условий местопроизрастания древесных пород.

В связи с получением большего количества ценной и деловой древесины из произрастающих насаждений этот принцип должен предусматривать полное и комплексное использование ее, а затем и обеспечение лесного восстановления с сохранением всех целевых функций [4].

Качественное состояние лесов, основу которого определяет породный состав, находится в прямой зависимости от целенаправленного ведения лесного хозяйства [5].

На современном этапе ведения лесного хозяйства, и прежде всего лесопользования, в основе должен лежать экосистемный подход.

Лесные экосистемы обладают устойчивостью, которая характеризуется структурой и сложностью сообщества [6].

Для лесов Восточной Сибири характерны антропогенные, биогенные и пирогенные внешние воздействия, результатом которых являются изменения в пространственно-временной динамике лесного фонда. Все это является основной угрозой для биоразнообразия лесов.

Цель исследования – оценка пространственно-временной структуры лесных экосистем.

Для достижения цели исследования необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ данных мониторинга лесов.
2. Анализ изменения возрастной структуры, а также всех таксационных показателей лесных фитоценозов на примере лесничеств Иркутской области.
3. Разработка комплекса мероприятий по повышению устойчивости лесных экосистем.

#### Материал и методы исследования

Объектами исследования были выделены и рассмотрены лесные массивы лесничеств Братского и Чунского районов Иркутской области. Особое внимание при изучении данного вопроса уделено результатам мониторинга лесов. На некоторых участках лесных территорий лесничеств Братского района были заложены пробные площадки в количестве 5 штук, где проводилась детальная таксация древостоев по общеизвестным методикам [7]. Все пробные площадки закладывались в одних лесорастительных условиях – разнотравном типе леса, с выборкой поквартальной и поведельной таксации. Площадки закладывались в выделах площадью от 3 до 10 га со сплошным перечетом деревьев на них. Площадь каждой площадки составляла 0,1 га.

Все изменения в таксационных показателях сравнивались следующими способами:

- 1) по материалам учета лесного фонда;
- 2) с помощью поведельной лесотаксационной информации.

Обработка данных проводилась методами корреляционного и регрессионного анализов и статистическими методами с использованием компьютерных программ.

#### Результаты исследований и их обсуждение

На исследуемых территориях выбранных районов Приангарья (Братский и Чунский) преобладают южно-таёжные и подта-

ёжные природные комплексы. Лесистость этих районов составляет около 80%. Большая часть лесопокрытой площади представлена светлохвойными древесными породами, отличающимися высокой производительностью. Средний запас стволовой древесины составляет 146-152 м<sup>3</sup>/га, в спелых лесах – 200-240 м<sup>3</sup>/га. Прирост древесины составляет 2 м<sup>3</sup>/га [8].

В настоящее время проведено мало исследований по изучению состояния лесного фонда Иркутской области. Материалы лесоустройства в некоторых лесничествах превышают 15 лет. Назрела необходимость проведения в ближайшие годы лесоустройства для улучшения существующего положения.

По полученным данным мы можем рассмотреть динамику таксационных показателей и изменение площади лесов и запаса древесины за исследуемый период. На рисунке 1 представлена динамическая характеристика лесных земель по Чунскому району.

Исходя из полученных результатов, можно отметить: происходит увеличение общей площади лесного фонда на 2027,0 га; площадь, покрытая лесной растительностью, уменьшилась на 13 647,0 га; площадь с преобладанием хвойных пород сократилась на 34 037,0 га, в том числе с преобладанием сосны – площадь сократилась на 21 709,0 га; площадь мягколиственных пород увеличилась на 20 428 га; общий запас древесины сократился на 7194,5 тыс. м<sup>3</sup>, запас спелых перестойных лесов сократился на 3171,4 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе запас хвойных пород уменьшился на 7506 тыс. м<sup>3</sup>.

На рисунке 2 представлено состояние лесного фонда под влиянием антропогенного воздействия.

Из рисунка 2 видно, что за учетный период площадь вырубki леса увеличилась на 5245 га, площадь лесных культур тоже выросла в сравнении с 2017 годом на 349 га, площадь незаконных рубок снизилась на 1716,3 га, в целом лесистость уменьшилась на 0,7%. За трехлетний период наблюдается увеличение общей площади лесного фонда на 2027,0 га; но при этом площадь, покрытая лесной растительностью, сократилась на 13 647,0 га; также площадь основных лесобразующих пород уменьшилась на 34 037,0 га, в том числе с преобладанием сосны – на 21 709,0 га; а площадь мягколиственных пород увеличилась на 20 428 га. Это можно объяснить тем, что это происходит из-за сокращения объемов лесовосстановительных работ и проведения рубок лесных насаждений.



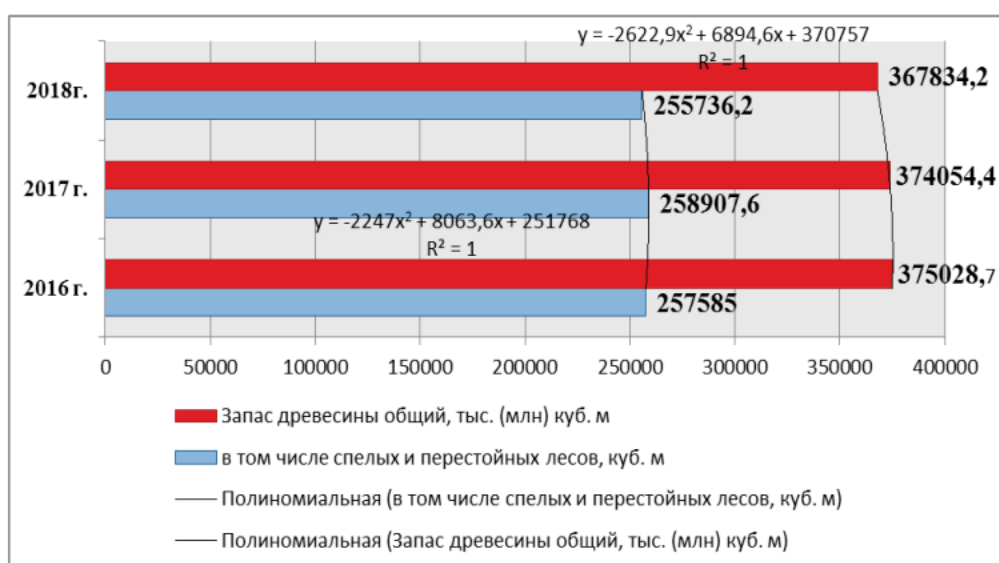
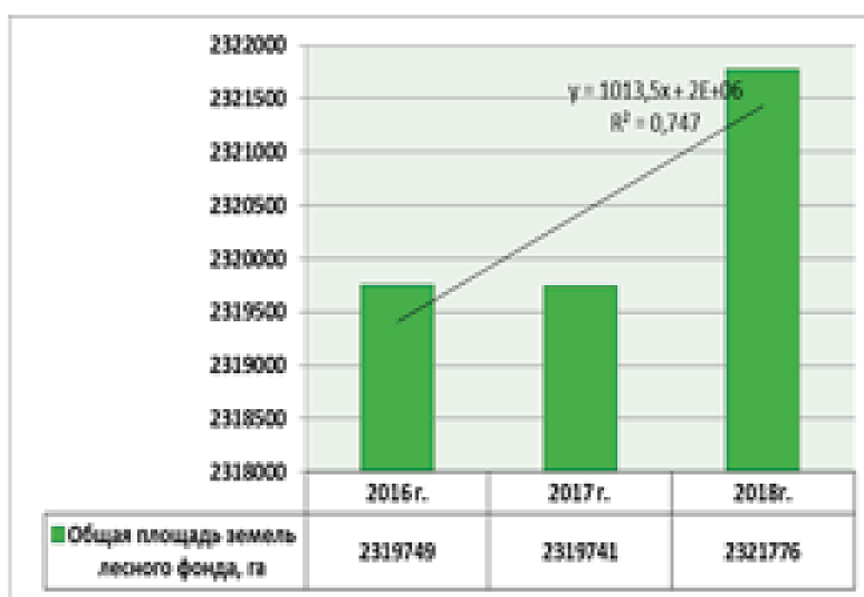
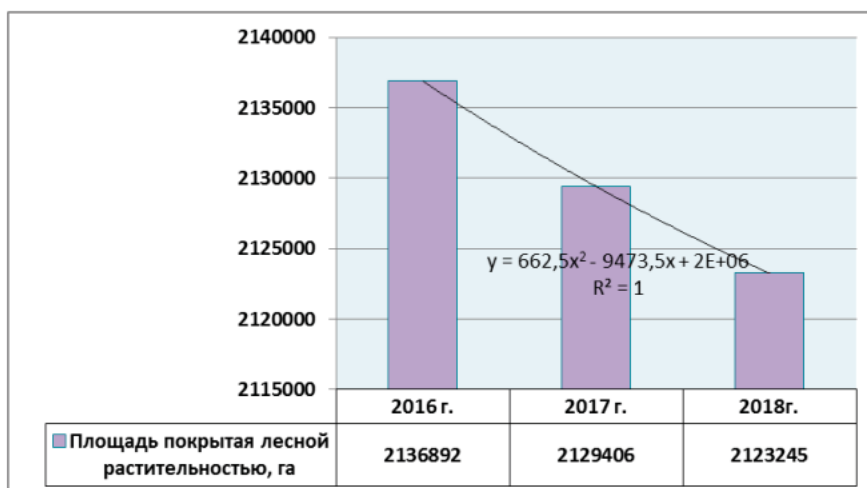


Рис. 1. Динамика земель лесного фонда

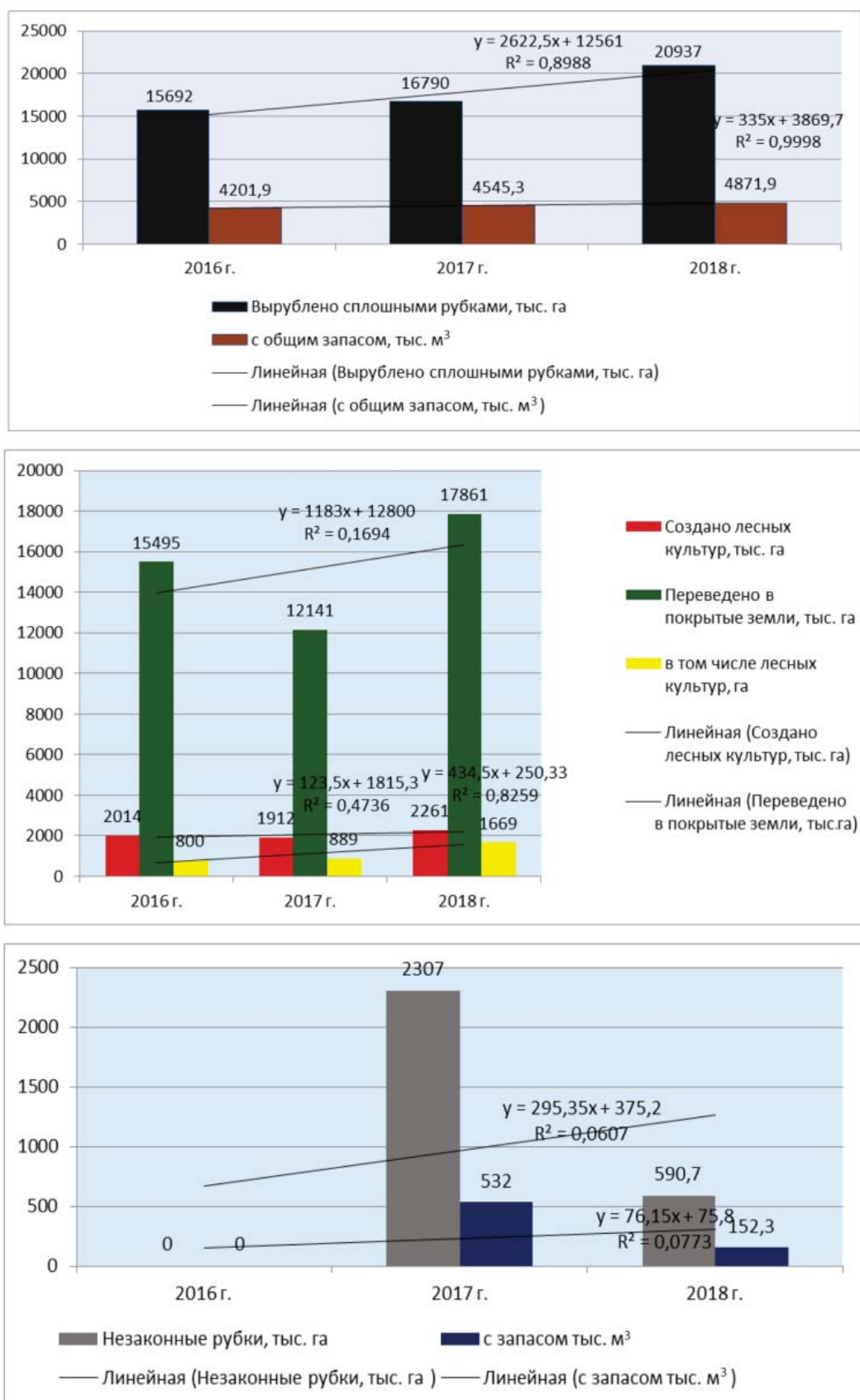


Рис. 2. Анализ лесного фонда

Таблица 1

Таксационное описание объектов исследования

№ п/п	Породный состав	Лесоустройство 1999 г.			Лесоустройство 2016 г.			Пробные площади		
		Возраст	Н,м	Д,см	Возраст	Н,м	Д,см	Возраст	Н,м	Д,см
1 кв.101 выдел 1 Вихоревская дача	8С2Л+Б	С-110	С-21	26	С-40	12	12	С-40	16	14
		Л-110	Л-21	28	Л-40	13	14	Л-40	16	14
		Б-60	Б-18	18	Б-40	14	14	Б-45	14	14
2 кв.101 выдел 7 Вихоревская дача	4С5Б1Ос	С-25	7	8	С-40	11	10	С-45	14	12
		Б	-	-	Б	12	10	Б	16	14
		Ос	-	-	Ос	12	10	Ос	16	14
3 кв.142 выдел 53 Вихоревская дача	6С2С1Л1Б	С-85	18	22	С-100	23	28	С-110	26	30
		С-140	21	26	Л	23	28			
		Л	18	22				Б-80	18	18
		Б-60	18	18	Б-90	18	18			
4 кв.48 выдел 7 Кузнецовская дача	8С2Б	С-180	23	32				С-190	23	32
		Б	26	40	Б-90	26	36	Б-90	26	36
5 кв.52 выдел 2 Кузнецовская дача	4С3Л2Б1Ос	С-160	24	40	С-170	19	20	С-170	20	20
		Л-160	27	48	Л-180	20	22	Л-170	20	22
		Б-80	20	20	Б-90	23	32	Б-90	24	30
		Ос-80	20	24	Ос-90	21	36	Ос-90	20	32

Таблица 2

Структура лесного фонда по преобладающим породам

Преобладающая порода	Лесоустройство		Пробы
	1999 г.	2016 г.	
С	31	28	26
Л	20	18	18
Б	29	31	36
Ос	20	23	20
Итого	100	100	100

Исследования по изменению структуры лесных насаждений проводились на отдельных лесных участках лесничеств Братского района (табл. 1).

В таблице 2 приведено долевое участие основных лесообразующих пород, произрастающих на пробных площадях.

Из таблицы 2 видно, что породный состав по сосне снизился, по лиственнице изменений практически не наблюдалось, а по мягколиственным породам, особенно березе, видно увеличение примерно на 4 единицы.

На рисунке 3 приведен анализ по основным таксационным показателям на примере одной из дач лесничеств Братского района.

Из рисунка 3 видно, что возраст по сосне снизился на 70 лет, по лиственнице опре-

деления возраста не происходило, высота по сосне уменьшилась на 9 м, а по лиственнице на 8 м, диаметр по сосне и лиственнице уменьшился на 14 см.

В таблице 3 представлены средние таксационные показатели по всем пробным площадям с выделением пород.

Из полученных результатов видно, что изменение возраста, высоты и диаметра напрямую зависит от лесорастительных условий и от лесопользования.

На территории наблюдается неравномерное изменение возраста древостоев, объяснить это можно нарушениями, возникшими при выдельной таксации, а также санитарным состоянием насаждений, оставленных после проведения рубок леса [9].

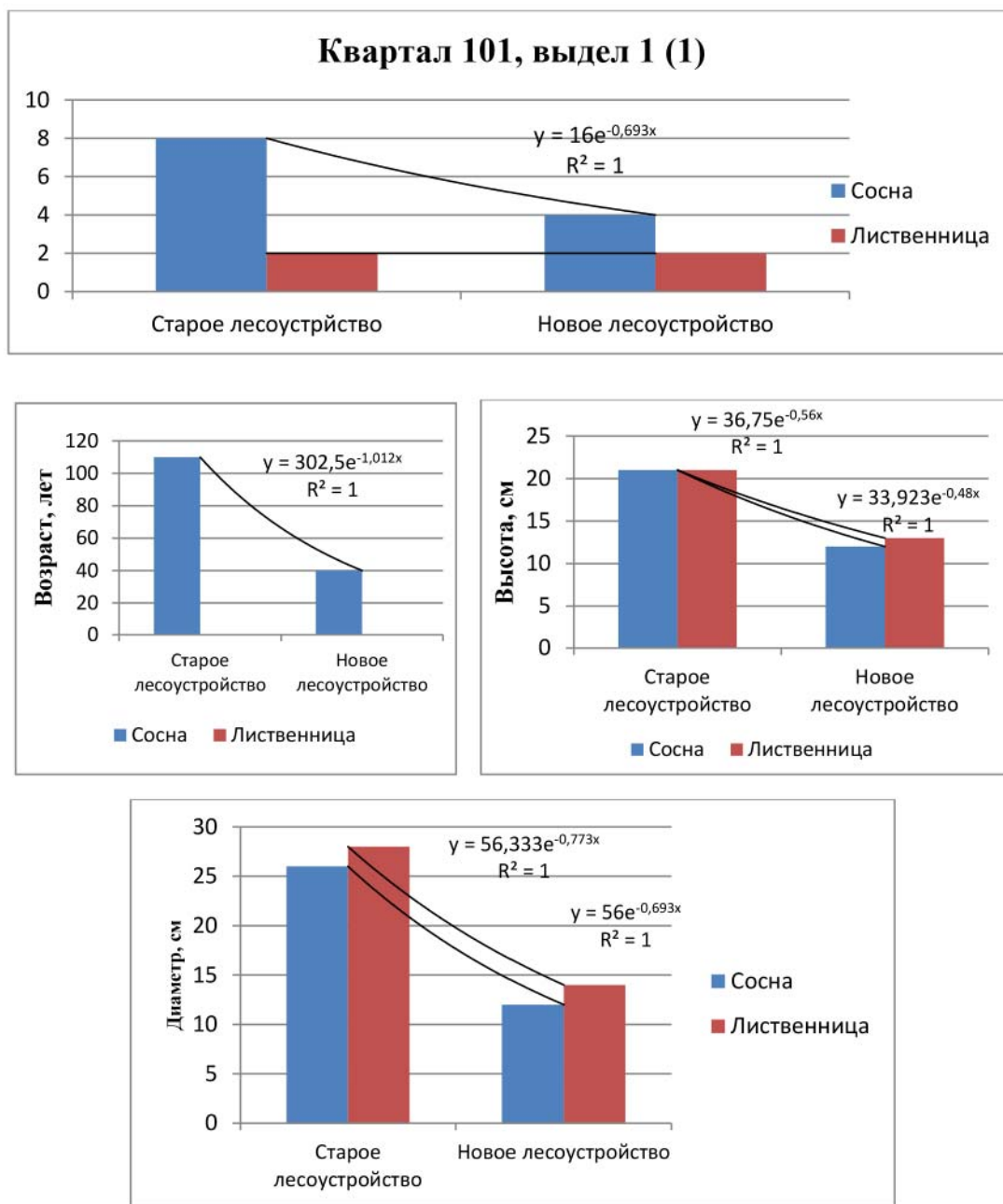


Рис. 3. Пример изменений таксационных показателей на примере одного квартала Вихоревской дачи

Таблица 3

Средние таксационные показатели

Преобладающая порода	Возраст	Бонитет	Полнота	Запас на 1 га м <sup>3</sup>	Средний прирост, м <sup>3</sup>
С	86	3,6	0,7	190	2,2
Л	90	3,7	0,6	186	2,0
Б	40	3,0	0,7	94	2,3
Ос	46	3,0	0,6	102	2,2

Анализ функциональной структуры и состояния лесного фонда указывает на преобладание в регионе сырьевой составляющей функций лесов. Все результаты исследований по состоянию лесного фонда показывают, что леса являются объектами непрерывного и неистощительного лесопользования. В связи с этим необходимо все мероприятия, направленные на поддержание лесного фонда в равновесии, свести к решению следующих задач ведения лесного хозяйства:

1. Регулирование породного состава хозяйственно ценными древесными породами (не уменьшая соотношения 75% хвойных и до 25% мягколиственных пород).

2. Повышение продуктивности лесов за счет лесовосстановительных мероприятий.

3. Полное и рациональное использование спелых и перестойных насаждений [10].

Эти мероприятия позволят правильно проводить лесопользование в условиях Приангарья.

### Выводы

При изучении состояния лесного фонда лесов Средней Сибири было установлено:

1. Площадь лесных массивов претерпела изменения в сторону сокращения в среднем на 2%.

2. Запасы древесины в целом сократились на 3,8%, в спелых и перестойных насаждениях до 42%, это связано с интенсивной заготовкой древесины.

3. Распределение лесов по лесобразующим породам не претерпело существенных изменений. Особое внимание необходимо уделять хвойным сообществам с примесью березы в связи с тем, что она становится неизбежным компонентом их состава в лесах Иркутской области.

4. По результатам изменения возрастной структуры можно отметить, что возраст сосны снизился (в среднем на 70 лет). По средним таксационным показателям значе-

ния уменьшились: по высоте у сосны на 9 м, у лиственницы на 8 м; по диаметру у обеих пород на 14 см.

5. Рекомендуемый комплекс мероприятий по повышению продуктивности и рациональному использованию лесов направлен главным образом на подбор и смешение биологически совместимых древесных пород.

### Список литературы

1. Ващук Л.Н., Швиденко А.З. Динамика лесных пространств Иркутской области. Иркутск, 2006. 392с.
2. Алексеева Н.А., Гоголев И.М. Управление землями лесного фонда // Менеджмент: теория и практика. 2023. № 3-4. С. 7-13.
3. Ковалев А.П., Шелопупина С.В., Матвеева А.Г. Об эффективности восстановления лесов на Дальнем Востоке // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2015. № 2 (37). С. 23-28.
4. Лепихина О.Ю., Демидова П.М., Колесник О.А., Ковязин В.Ф., Гурьева О.С., Басова Л.А. Оценка запаса древостоев на землях лесного фонда с учетом антропогенных рисков: программно-методическое обеспечение // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. № 9. С. 185-197.
5. Соколов В.А., Фарбер С.К., Щепашенко Д.Г., Мухортова Л.В., Соколова Н.В., Кривобоков Л.В., Астапенко С.А., Буренина Т.А., Втюрина О.П., Корягина Е.А., Кузьмик Н.С., Ложенко М.Д., Люто А.А., Мартынов А.А., Мурзакматов Р.Т., Онучин А.А., Пашкеева О.Э., Сергеева О.В., Тютькова Е.А., Хиневич Л.А. Оценка лесов Сибири в условиях глобальных изменений: монография / отв. ред. В.А. Соколов. СПб.: Научное издание технологий, 2023. 326 с.
6. Русецкая Г.Д., Горбунова О.И. Реализация принципов устойчивости управления древесными ресурсами в лесах Иркутской области // Известия Байкальского государственного университета. 2021. Т. 31, № 2. С. 248-261.
7. Анучин Н.П. Лесная таксация. 6-е изд. М.: ВНИИЛМ, 2004. 552 с.
8. Чжан С.А., Рунова Е.М., Пузанова О.А. Пространственно-временной характер лесных сукцессий Приангарья: монография: Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2008. 100 с.
9. Соколов В.А., Втюрина О.П., Соколова Н.В., Злобин А.А. О совершенствовании лесопользования в России // Реализация Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 года в новых реалиях. Мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск: Байкал. гос. ун-т, 2023. С. 36-42.
10. Чжан С.А., Пузанова О.А., Евдокимов Р.Н., Гребенюк А.Л. Организация использования лесов при динамических изменениях. // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 1 (53). С. 169-174.

## СТАТЬИ

УДК 911.5/.9

DOI 10.17513/use.38244

**К ВОПРОСУ О ПРОЦЕССАХ САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ  
СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТНЫХ КОМПЛЕКСОВ, НАХОДЯЩИХСЯ  
НА СТАДИИ ПОСТАНТРОПОГЕННОГО РАЗВИТИЯ****Алексеев И.А.***Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос», Циолковский,  
e-mail: igoralex20071@mail.ru*

**Аннотация.** Цель работы состоит в рассмотрении теоретических и практических аспектов автовосстановления структуры антропогенно нарушенных лесных ландшафтных комплексов на примере российской части территории северо-восточной окраины Евразии. Под процессами автовосстановления антропогенно нарушенной структуры ландшафтных комплексов понимаются процессы «самосборки» элементов и компонентов системы ландшафта, развивающиеся до начала формирования полноценных компонентов, обеспечивающих развитие переменных состояний серийных фаций, и, соответственно, до развития и проявления процессов и результатов сукцессии в ландшафтно-биоценотической структуре комплекса. На основе применения комплексных физико-географических методов в ходе полевых многолетних стационарных, полустационарных и маршрутных исследований природных, природно-антропогенных и антропогенных ландшафтов Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации с применением материалов дистанционного зондирования Земли проведен анализ сущности и проявлений процессов постантропогенной динамики состояний лесных ландшафтов и внутриландшафтных комплексов, их компонентов. Дифференцирована и обоснована в динамичной системе «условно стабильное состояние ландшафта – антропогенные воздействия и нарушения структуры ландшафта – восстановление структуры и достижение условного стабильного состояния ландшафта» совокупность процессов постантропогенного автовосстановления структуры ландшафтных комплексов. При этом проведен анализ стадий и фаз процессов структуры ландшафтных комплексов в процессе циклического, диалектически неразрывного воздействия антропогенных и природных (естественных) факторов (процессов). Материалы исследования вносят вклад в решение дискуссионных вопросов антропогенного ландшафтоведения, формируют концептуальные основы для развития проблематики системного анализа процессов автовосстановления антропогенных ландшафтов. Установленные и обоснованные закономерности механизма развития процессов постантропогенного автовосстановления показателей, структуры антропогенно нарушенных ландшафтных комплексов позволяют проводить дальнейшие исследования в сфере оптимизации антропогенных нагрузок на геосистемы Земли, формирования природосохраняющих, оптимальных по допустимости уровней и типов антропогенных трансформаций естественной или восстановленной структуры ландшафтов, позволяющих им эффективно автовосстановиться на постантропогенной стадии.

**Ключевые слова:** антропогенное ландшафтоведение, северо-восточная окраина Евразии, лесные ландшафты, автовосстановление антропогенно нарушенной структуры ландшафтов

**ON THE PROCESSES OF SELF-RESTORATION  
OF THE STRUCTURE OF LANDSCAPE COMPLEXES  
AT THE STAGE OF POST-ANTHROPOGENIC DEVELOPMENT****Alekseev I.A.***State corporation for space activities «Roscosmos», Tsiolkovsky, e-mail: igoralex20071@mail.ru*

**Annotation.** The aim of the paper is to consider theoretical and practical aspects of autoremediation of the structure of anthropogenically disturbed forest landscape complexes on the example of the Russian part of the territory of the north-eastern edge of Eurasia. The processes of autoremediation of anthropogenically disturbed structure of landscape complexes are understood as processes of «self-assembly» of elements and components of the landscape system, developing before the formation of full-fledged components that ensure the development of variable states of serial facies and, accordingly, before the development and manifestation of processes and results of succession in the landscape-biocenotic structure of the complex. Based on the application of complex physical and geographical methods in the course of field multi-year stationary, semi-stationary and route studies of natural, natural-anthropogenic and anthropogenic landscapes of Siberia and the Far East of the Russian Federation with the use of Earth remote sensing materials, the essence and manifestations of the processes of post-anthropogenic dynamics of forest landscapes and intralandscape complexes and their components were analysed. A set of processes of post-anthropogenic autorehabilitation of landscape complexes structure in the dynamic system «conditionally stable state of landscape – anthropogenic impacts and disturbances of landscape structure – restoration of structure and achievement of conditionally stable state of landscape» is differentiated and substantiated. The stages and phases of processes of landscape complexes structure in the process of cyclic, dialectically inseparable impact of anthropogenic and natural factors (processes) were analysed. The materials of the study contribute to the solution of controversial issues of anthropogenic landscape science, form the conceptual basis for the development of the problems of system analysis of the processes of autoremediation of anthropogenic landscapes. The established and substantiated regularities of the mechanism of development of processes of post-anthropogenic autoremediation of indicators, structure of anthropogenically disturbed landscape complexes allow us to conduct further research in the field of optimization of anthropogenic loads on geosystems of the Earth, formation of nature-preserving, optimal levels and types of anthropogenic transformations of natural or restored structure of landscapes, allowing them to effectively autoremediate at the post-anthropogenic stage.

**Keywords:** anthropogenic landscape science, north-eastern edge of Eurasia, forest landscapes, auto-restoration of anthropogenically disturbed landscape structure

Антропогенные ландшафты на «гребне волны» индустриализации множества государств получили практически повсеместное распространение в пределах территорий с достаточно комфортными для человека климатическими условиями, что обусловило интенсивное рассмотрение вопросов антропогенной трансформации природных систем, комплексов, их воздействий на общество, технологии использования и задействования объектов, явлений и процессов окружающей среды для обеспечения различных потребностей общества, аспектов теории и практики рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Отдельные прикладные аспекты исследования процессов развития постантропогенных процессов в ландшафтных комплексах с учетом возникающих потребностей в организации систем рационального природопользования на общем фоне деградации ландшафтов рассматривались в рамках теории антропогенного ландшафтоведения [1, 2] при формировании направлений научного поиска. Интересен факт, что, несмотря на невозможность проведения анализа процессов антропогенных факторов трансформации структуры естественных ландшафтов с формированием антропогенных, природно-антропогенных ландшафтов, без проведения анализа диалектически, логически связанных с ними процессов антропогенно обусловленного или естественного постантропогенного восстановления их структуры, отдельное, самостоятельное направление антропогенного ландшафтоведения, предметом изучения которого являлись бы процессы автовосстановления структуры, не сформировалось. При этом получили хорошее развитие и исследование процессов постантропогенного восстановления или компонентов ландшафтов [3-5], или свойств – показателей «качества» ландшафтов [6-8].

Рассмотрение теоретических аспектов постантропогенного автовосстановления ландшафтных комплексов должно основываться на оперировании специальным терминологическим аппаратом. Так, термины «восстановление ландшафта», «восстановление биоценоза» и другие сформулированы в процессе появления и развития ландшафтно-экологических направлений исследований [1] и в процессе роста общественного интереса к проблематике сохранения качества окружающей среды для обеспечения оптимальных и безопасных условий для жизнедеятельности человека

и развития системы рационального природопользования [2].

Целью исследования является изучение закономерностей и региональной специфики процессов автовосстановления структуры антропогенно нарушенных лесных ландшафтных комплексов российской части территории северо-восточной окраины Евразии с формированием научного теоретического, концептуального обоснования объективности и сущности этих процессов.

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

Для достоверного изучения процессов постантропогенного автовосстановления показателей структуры лесных ландшафтных комплексов на основе применения комплексных физико-географических методов в пределах физико-географических районов на территории северо-восточной окраины Евразии на основе принципа равномерного распределения в пределах основных типов и видов лесных равнинных и горных ландшафтов были дифференцированы и изучены более 450 ключевых стационарных участков, в пределах которых были дифференцированы более 500 видов ландшафтов и 10000 контуров элементарных ландшафтов [9, с. 40–159]. В качестве основы для упорядоченного выявления сущности процессов автовосстановления комплексов для природных, природно-антропогенных и антропогенных ландшафтов территории осуществлены дифференциация и генетическая классификация, физико-географическое и ландшафтное районирование территории исследования.

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

Проведенное обобщение материалов исследования позволило выявить отличие процессов «восстановления» показателей, состава и структуры природных компонентов, внутриландшафтных комплексов, ландшафтов от процессов их «автовосстановления». Процессы «восстановления» подразумевают всю совокупность процессов под прямым и косвенным воздействием антропогенных факторов, естественных и антропогенных процессов воссоздания свойств и показателей, утраченных или видоизмененных, преобразованных различными факторами и воздействиями, в том числе и антропогенными, природных компонентов, внутриландшафтных комплексов и ландшафтов. Под процессами же «автовосстановления» ландшафтных комплексов

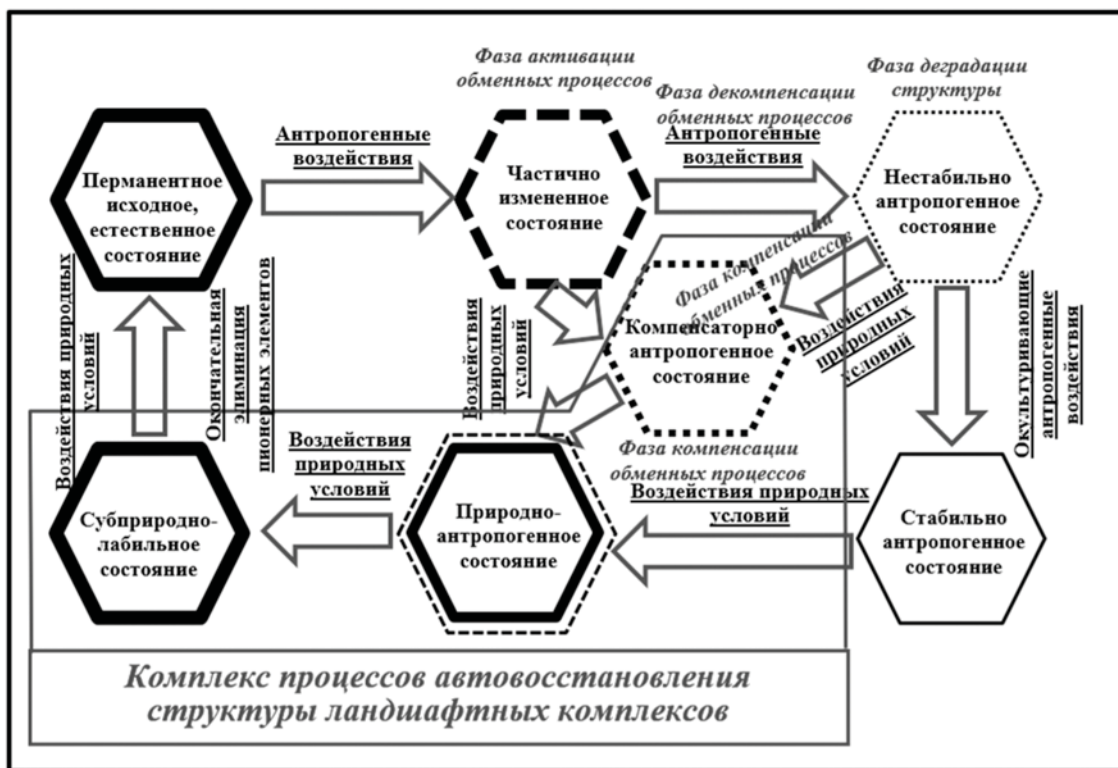
можно подразумевать естественные процессы воссоздания качественных и количественных показателей, структуры компонентов их элементов, внутриландшафтных комплексов, ландшафтов по принципу «самосборки» в рамках оптимума показателей, структуры, ограниченного лимитирующими воздействиями (минимумов и максимумов возможных величин) сочетаний зонально-азональных условий и факторов, с элиминацией всех вариантов результатов автовосстановления, находящихся вне данного оптимума [9, с. 162].

В подавляющем числе выборки наблюдаемых случаев как естественные, так и антропогенные процессы трансформации структуры ландшафтных комплексов [10, 11] и ее автовосстановление не являются антиподами и часто развиваются параллельно, последовательно или параллельно-последовательно, с учетом того, что установление точных рамок взаимоперехода из стадии антропогенного прессинга в стадию постантропогенного автовосстановления структуры элементов и компонентов ландшафтного комплекса практически невозможно. Это, прежде всего, определя-

ется их диалектическими взаимосвязями в рамках единой вещественно-энергетической структуры элемента природного компонента ландшафтного комплекса [8].

В обобщенном виде механизм формирования и развития процессов автовосстановления ландшафтных комплексов, подвергшихся антропогенной трансформации, можно представить в виде циклического алгоритма развивающихся последовательно, параллельно или параллельно-последовательно стадий развития процессов автовосстановления структуры элементов, компонентов и в целом комплексов (рисунок).

Многие представленные стадии развития процессов автовосстановления структуры могут не проявляться («выпадать») или проявляться в латентном виде [8]. Такие этапы (стадии) антропогенных трансформаций и постантропогенного автовосстановления структуры ландшафтных комплексов, по сути, являются вариативными: стадии динамики ландшафтных комплексов «нестабильное антропогенное состояние», «стабильное антропогенное состояние», «компенсаторное антропогенное состояние».



Принципиальная схема развития процессов антропогенных трансформаций и автовосстановления структуры ландшафтных комплексов

Источник: составлено автором



Стадии развития процессов антропогенных трансформации и автовосстановления структуры ландшафтных комплексов как неотъемлемая часть узловых элементов цепей смены их состояний являются инвариантными (мало изменяемыми): стадии «перманентное исходное, естественное состояние», «частично измененное состояние», «природно-антропогенное состояние», «субприродно-лабильное состояние».

Перманентное естественное состояние структуры ландшафтного комплекса представляет собой первоначальное, исходное условно равновесное состояние. Эта стадия развития ландшафтного комплекса обычно формируется как результат завершения процессов постантропогенного автовосстановления его структуры.

Инвариантная стадия частично измененного ландшафтного комплекса является результатом первичной ответной реакции природных компонентов ландшафтного комплекса на недифференцированное антропогенное воздействие или совокупность антропогенных и природных воздействий. На этой стадии наблюдается скачко- или взрывообразное возрастание качественно-количественных показателей обменных процессов в биологических системах ландшафтного комплекса (фаза активации обменных процессов). При прекращении антропогенных воздействий эта стадия является вариативной стадией компенсаторно антропогенного состояния.

Фаза компенсации обменных процессов проявляется в формировании систем замещения, компенсации циклов миграции вещества в пределах компонентов и между компонентами, утраченных или нарушенных в результате воздействия антропогенных факторов. При этом обменные процессы в элементах и компонентах комплекса, определенные антропогенными факторами, могут быть замещены процессами, идентичными естественным процессам (в пределах среднезональной нормы), или синтетическими (природно-антропогенными) в условиях наличия техногенных, агрогенных элементов, прямо, косвенно замещающих естественные обменные циклы.

Не свойственные текущим природным условиям, широко варьирующие параметры элементов и компонентов ландшафтных комплексов, идентичных естественным или характеризующихся аналогичными антропогенными элементами и компонентами в пределах «зональной и аazonальной нормы», развивающихся в зависимости от со-

четания зонально-азональных факторов как процессы компенсации утраченных или антропогенно замещенных элементов, характеризуют развитие вариативной стадии компенсаторно-антропогенного состояния комплексов.

Процессы автовосстановления структуры ландшафтных комплексов при формировании и развитии стадии компенсаторно-антропогенного состояния проявляются только в количественном восполнении «освободившихся» пространств (экологических «ниш») биотопов, без заметного изменения качественных показателей структуры. Развитие этих процессов определяется разбалансированностью существовавшей ранее пространственно-качественно-количественной структуры природных компонентов ландшафтных комплексов с постепенным заполнением высвободившихся участков биотопов. При последовательно продолжающихся, поэтапно усиливающихся и дифференцирующихся глубоких антропогенных воздействиях, характеризующих развитие фазы декомпенсации обменных процессов, инвариантная стадия частично измененного состояния сменяется вариативной стадией нестабильно антропогенного состояния.

Стадия нестабильно антропогенного состояния характеризуется значительным уровнем антропогенной трансформированности, но из-за сохранения структуры компонентов ландшафтных комплексов, близкой к естественной, незамещенности ее преимущественно естественных элементов исключительно антропогенными техногенными элементами, компонентами, при прекращении дальнейших антропогенных воздействий может достаточно быстро перейти в стадию компенсаторно-антропогенного состояния.

Результатом развития фазы декомпенсации обменных процессов в ландшафтных комплексах, как правило, является общее нарушение обмена веществ в циклах ландшафта. Эта стадия практически без наличия переходных процессов самопроизвольно трансформируется в фазу деградации структуры компонентов ландшафтных комплексов. Этому обычно способствуют развитие и усиление процессов эрозии почв и материнских пород, процессов формирования хаотичных, нежизнеспособных циклов обмена биотического вещества, изъятия, замещения естественных элементов, компонентов или формирования изолированно инородных антропогенных элементов и компонентов.

В ходе фазы деградации структуры компонентов ландшафтных комплексов формируются процессы элиминации отдельных элементов природных компонентов, целых компонентов или их функциональных групп. При этом даже ускорение никогда не прекращающихся процессов автовосстановления качественных и количественных показателей, структуры комплексов, ускорение процессов замещения утраченных компонентов не может превысить величину воздействий трансформирующих и деструктурирующих антропогенных факторов, тем самым не позволяя воссоздать естественную структуру комплекса.

Установлением продолжающихся, часто циклических и стабилизирующих состояния компонентов, однотипных и соразмерных антропогенных воздействий на сформировавшиеся антропогенные системы и сохранившиеся естественные элементы и компоненты характеризуется вариативная стадия стабильно антропогенного состояния. При этом стабилизация и сохранение состояния антропогенных элементов, компонентов, объектов (систем) и природно-антропогенных, природных элементов, компонентов достигаются последовательным и планомерным, периодичным воздействием антропогенных факторов. Такие антропогенные воздействия в научно-популярной литературе принято называть «культурными», «окультуривающими».

Инвариантная стадия природно-антропогенного состояния характеризуется установлением в результате прекращения (уменьшения) антропогенных нагрузок динамического равновесия антропогенных и естественных компонентов. При этом формируются тенденции последующего доминирования зональных и азональных естественных, природных условий окружающей среды с последующим переходом ландшафтных комплексов в состояние, близкое к исходному, естественному. Развитию данной стадии соответствует фаза компенсации обменных процессов, которая проявляется в формировании систем компенсации циклов миграции вещества, идентичных естественным в пределах среднезональной нормы, утраченных в результате действия антропогенных факторов.

Природно-антропогенные комплексы, сформировавшиеся в результате воздействия умеренных, недифференцированных антропогенных факторов, в подавляющем большинстве наблюдаемых случаев характеризуются самыми максимальными темпами вос-

становления качественных и количественных показателей структуры, свойственных естественным ландшафтным комплексам.

Инвариантная стадия субприродно-лабильного состояния постантропогенных ландшафтных комплексов характеризуется развитием процессов элиминации антропогенных компонентов их структуры, а в случае ее невозможности или долгосрочности начинаются процессы депонирования, захоронения антропогенных элементов, компонентов и объектов. И только в случае развития постпирогенных антропогенных процессов формирующиеся комплексы не имеют отличий от исходных, естественных и соседствующих ландшафтных комплексов. Посттехногенные и постагрогенные комплексы по внешним морфологическим признакам не имеют значительных отличий от естественных, соседствующих ландшафтных комплексов, только почвенные горизонты имеют антропогенные включения и определенный уровень турбированности, а форма контуров выделов ландшафтных комплексов имеет либо линейную вытянутость, либо полигональность. При этом, с учетом вышеизложенного, данная стадия может характеризоваться наличием латентного автовосстановления показателей структуры.

Основным условием и результатом постантропогенного автовосстановления ландшафтных комплексов является формирование полноценной ландшафтно-биоценотической структуры (биоценозов), элементы и компоненты которых способны в дальнейшем к репродуцированию (самовоспроизведению) и обладают определенным уровнем резистентности к воздействиям внешних факторов, в том числе и антропогенных.

### Заключение

Установленные диалектические взаимосвязи динамики процессов, связанных с последовательно-параллельным развитием антропогенной трансформации ландшафтных комплексов и их постантропогенным автовосстановлением, позволяют рассматривать комплекс процессов в системе «антропогенная трансформация элемента, компонента ландшафтного комплекса – постантропогенное автовосстановление трансформированного элемента, компонента ландшафтного комплекса – постантропогенно инерционное естественное развитие структуры ландшафтного комплекса» как объект для изучения в целях формирования методик управления этим комплексом.

Дальнейшее рассмотрение рассмотренных аспектов состояний ландшафтных комплексов при развитии и стабилизации результатов антропогенных трансформаций и постантропогенного автовосстановления качественных, количественных показателей, структуры представляется важным с точки зрения оптимизации антропогенных нагрузок на геосистемы Земли, формирования природосохраняющих, оптимальных по допустимости уровней и типов антропогенных трансформаций естественной или восстановленной структуры ландшафтов, позволяющих им эффективно автовосстанавливаться на постантропогенной стадии, что, в конце концов, позволит подойти к научно обоснованной концепции рациональных, природосообразных систем природопользования.

#### Список литературы

1. Осипов С.В. О единой классификации природных и антропогенных ландшафтных комплексов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87, № 2. С. 322-336.
2. Вампилова Л.Б., Соколова А.А. Основные этапы формирования физико-географического направления исторической географии // Псковский региональный журнал. 2020 № 2 (42). С. 71-86.
3. Брыжко В.Г. Восстановление нарушенных земель в условиях крупного города // Фундаментальные исследования. 2016. № 6-1. С. 134-138.
4. Сизых А.П. Трансформация и восстановление растительности в Прибайкалье // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 37. С. 86-102.
5. Баженов Ю.А. Процесс восстановления популяции тарбагана (*Marmota sibirica* Radde, 1862, Sciuridae, Rodentia) на особо охраняемых природных территориях Даурии // Амурский зоологический журнал. 2024. Т. XVI, № 1. С. 19-25.
6. Артемова С.Н., Леонова Н.А. Формирование ландшафтов северной лесостепи (на примере Пензенской области) // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-10. С. 2180-2184.
7. Неустроева М.В., Деева У.В. Экологическая оценка ландшафта Манское низкоегорье и среднегорье // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-12. С. 2617-2620.
8. Сысуев В.В. Полиструктурная организация ландшафта: геофизический анализ синергетики геосистем // Тихоокеанская география. 2020. № 4 (4). С. 5-13.
9. Алексеев И.А. Классификация ландшафтов и анализ результатов процессов автовосстановления структуры ландшафтов территории Амурской области. Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2022. 263 с.
10. Горохов А.Н. Картографирование антропогенной трансформации ландшафтов в Якутии // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. 2022. № 1 (25). С. 19-28.
11. Лысанова Г.И. Природные и аграрные ландшафты юга Енисейской Сибири // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2020. Т. 33. С. 88-99.

УДК 91:627.141.1

DOI 10.17513/use.38245

## ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ СЕЛЕПРОЯВЛЕНИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЧЕРЕК БЕЗЕНГИЙСКИЙ

<sup>1</sup>Беккиев М.Ю., <sup>1</sup>Докукин М.Д., <sup>1</sup>Калов Р.О., <sup>1</sup>Калов Р.Х., <sup>2</sup>Шагин С.И.

<sup>1</sup>ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: [inrush@bk.ru](mailto:inrush@bk.ru);

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова»,  
Нальчик, e-mail: [uniid-sergey@yandex.ru](mailto:uniid-sergey@yandex.ru)

**Аннотация.** В результате анализа разновременных аэрофотоснимков и космоснимков получены данные о зонах поражения селевыми потоками территорий в верховьях долины р. Черек Безенгийский, наиболее крупными из которых являются селевые потоки на р. Жиришкису и Думала в 1967 г. Площади селевых отложений на конусах выноса этих рек и в русловой зоне р. Черек Безенгийский превышали 200 тыс. и 100 тыс. м<sup>2</sup> соответственно. Это было следствием прохождения аномальных ливней, которые способствовали эрозионному процессу в моренном массиве в верховьях р. Жиришкису и сходу оползня с правого склона долины р. Думала. Полученные параметры селевых отложений оказались значительно меньше, чем приведены в кадастрах селей. Это подтверждает важность анализа разновременной аэрокосмической информации на участках селевых очагов и зон аккумуляции селевой массы на конусах выноса притоков и в руслах главных рек при оценке селевой опасности. Показано, что современные селевые процессы могут быть экстремальными в результате эволюции моренных массивов, содержащих значительные объемы льда, и активизации оползней при выпадении аномальных осадков.

**Ключевые слова:** экстремальные селевые потоки, зона поражения, селевой очаг, космический снимок, аэрофотоснимок, моренный массив, оползень

## EXTREME DEBRIS FLOWS IN THE CHEREK BEZENGIYSKY RIVER BASIN

<sup>1</sup>Bekkiev M.Yu., <sup>1</sup>Dokukin M.D., <sup>1</sup>Kalov R.O., <sup>1</sup>Kalov R.Kh., <sup>2</sup>Shagin S.I.

<sup>1</sup>High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: [inrush@bk.ru](mailto:inrush@bk.ru);

<sup>2</sup>Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov,  
Nalchik, e-mail: [uniid-sergey@yandex.ru](mailto:uniid-sergey@yandex.ru)

**Annotation.** Using the analysis of multi-time aerial photographs and satellite images, we obtained data on the areas affected by debris flows in the upper reaches of the Cherek Bezengisky River Valley, the largest of which are debris flows on the Zhirishkisu and Dumala rivers in 1967. The areas of debris flow deposits on the fans of these rivers and in the channel zone of the Cherek Bezengisky River exceeded 200 thousand m<sup>2</sup> and 100 thousand m<sup>2</sup> accordingly. This was the consequence of abnormal rains, which contributed to the erosion process in the moraine massif in the upper reaches of the Zhirishkisu River and the landslide from the right slope of the Dumala River valley. The obtained parameters of debris flow deposits turned out to be significantly less than those given in the debris flow cadastres. This confirms the importance of analyzing multi-temporal aerospace information in areas of debris flow original sites and accumulation zones of debris flow mass on the fans of tributaries and in the beds of main rivers when assessing debris flow hazard. It is shown that modern debris flow processes can be extreme as a result of the evolution of moraine massifs containing significant amounts of ice and the activation of landslides during abnormal precipitation.

**Keywords:** extreme debris flows, affected area, debris flow original site, satellite image, aerial view, moraine massif, landslide

Селевые потоки на Кавказе имеют широкое распространение и наносят значительный ущерб. Данные о селевых потоках в результате длительных исследований и наблюдений систематизированы и сведены в табличной и графической форме в виде кадастров [1, 2], в которых приведены карты селевых бассейнов и различные их параметры. В качестве показателя степени селевой опасности использовался максимальный объем твердых отложений селя  $W$  (тыс. м<sup>3</sup>) в каждом селевом бассейне. Этот параметр определялся как по данным фактических измерений площади и толщины отложений, так и расчетными способами. В работе [3]

на основе систематических наблюдений приведены данные о характеристиках водных и селевых потоков (скорость, расход, глубина потока, объем выноса и объем твердых отложений). В Своде правил [4, п. 4.9.6] отмечена важность дешифрирования аэро- и космических материалов для установления наличия селевых процессов и границ их распространения, масштаба и повторяемости проявлений селевых потоков. Ранее в результате анализа разновременных аэро- и космических материалов проведена оценка экстремальных селепроявлений в бассейне р. Черек Балкарский [5] и выявлены максимальные масштабы зон пораже-

ния селевыми потоками 1967 г. в бассейне р. Баксан [6] в результате аномальных ливней слоем 69,9 мм (данные метеостанции Терскол [3, с. 62]). В последние годы были проведены исследования активности селей во всех селевых бассейнах Кабардино-Балкарской Республики, в том числе в бассейне р. Черек Безенгийский, для которого в ряде работ оценивался селевой риск [7], строились карты [8], оценивались параметры селевых потоков [9, 10], активность и зоны их воздействия [11–13], вычислялись показатели интегральной оценки селевой опасности [14]. В связи с появившейся возможностью получения космоснимков на различные периоды селевой активности было принято решение пересмотреть некоторые ранние оценки масштабов селепроявлений.

Целью исследования является проведение на основе анализа разновременных аэро- и космоснимков оценки зон поражения селевыми потоками в бассейнах с максимальными объемами единовременных селевых выносов (бассейны рек Жиришкису и Думала), достигающих по данным [1, с. 92; 2, с. 98] 1 млн м<sup>3</sup> и более.

#### Материалы и методы исследования

Для анализа были выбраны космоснимки спутников КН-4А и КН-4В проекта Corona 1966, 1967, 1980 гг. (сайт EarthExplorer), аэрофотоснимки 1957 г., космоснимок GeoEye-1 2013 г. (Google Earth) и космоснимки Sentinel-2 (сайт Sentinel Hub EO Browser). Использовались фотографии вертолетных облетов, материалы аэрофотосъемок БПЛА на участок бассейна р. Мижирги. Космоснимки и аэрофотоснимки привязывались в программе ArcMap по опорным точкам к космоснимкам Sentinel-2 в системе координат WGS84 проекции UTM. В программе ArcMap создавались векторные слои границ зон селевых отложений и вычислялись их площади, проводилось сравнение состояния моренных и оползневых массивов, конусов выноса и участков русел.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В результате просмотра разных по времени космоснимков американских спутников проекта Corona были отобраны космоснимки до и после схода селей 05.08.1967 г., на которых были видны значительные изменения на конусах выноса р. Жиришкису и Думала в бассейне р. Черек Безенгийский. На рис. 1 показаны границы этих двух бассейнов и селевые русла левых и правых

притоков р. Черек Безенгийский: 9 – Шыкису, 10 – Акусу, 11 – Беккамсу, 12 – Урельсу, 13 – Кияма-Чучхур, 16 – Мижирги, 17 – Безымянный, 18 – Наратлы, 19 – Жиришкису, 20 – Шкитсу, 21 – Думала, 22 – Удурсу.

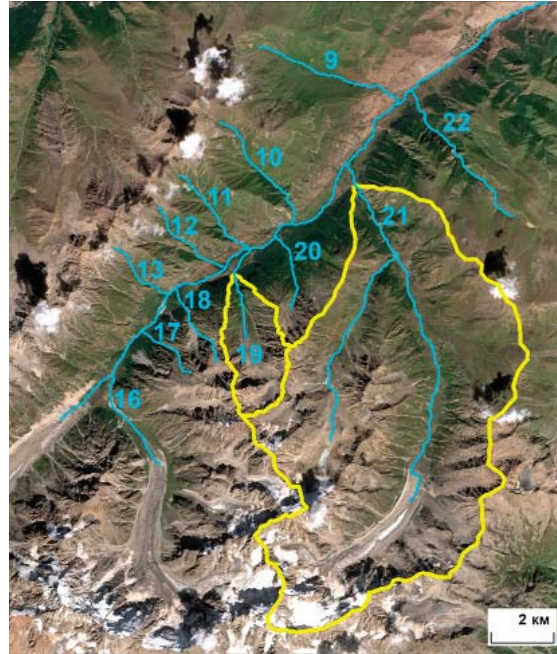


Рис. 1. Схема расположения селевых бассейнов р. Жиришкису (№ 19) и р. Думала (№ 21) (отмечены желтыми контурами) и селевых русел левых (№ 9–13) и правых (№ 16–22) притоков р. Черек Безенгийский в верховьях.

Номера селевых русел соответствуют номерам селевых бассейнов кадастров [1, 2]. Пояснения в тексте.

Подложка – космоснимок Sentinel-2 от 01.09.2023

В работах [7–12] основное внимание уделялось левым притокам р. Черек Безенгийский, так как селевые потоки, проходящие по ним, угрожают автодороге к альплагерю «Безенги», а правые притоки воздействуют на сельхозугодья (сенокосы и пастбища). Ниже представлены результаты исследований по бассейнам р. Жиришкису и Думала.

#### Селепроявления р. Жиришкису

Площадь селевого бассейна р. Жиришкису по данным авторов составляет 6,43 км<sup>2</sup> (в кадастре [1, с. 92] – 3,9 км<sup>2</sup> (!), в кадастре [2, с. 98] – 7,1 км<sup>2</sup>). На рис. 2 показан участок конуса выноса р. Жиришкису и примыкающая русловая зона р. Черек Безенгийский. Сравнение аэрофотоснимка 15.08.1957, космоснимка 17.08.1966 (частично с плотной облачностью) и космос-

нимка 13.08.1967 (фрагменты *а* и *б* на рис. 2) показало, что отложения селя 05.08.1967 выражены четким светлым контуром, занимающим нижнюю часть конуса выноса и в основном русловую зону р. Черек Безенгийский шириной до 130 м и протяженностью более 2 км. Площадь селевых отложений – 207,9 тыс. м<sup>2</sup>, что при средней толщине отложений 2 м [3, с. 134] составит объем более 400 тыс. м<sup>3</sup>.

На фрагменте *в* (рис. 2) видны следы прохождения селя 05.07.1975. Сель узкой полосой обошел справа отложения селя 1967 г. и частично отложил материал в русловой зоне р. Черек Безенгийский, из чего можно сделать вывод, что объем отложений его был значительно меньше. А сравнение с последующими аэрофотоснимками и кос-

моснимками (фрагмент *г*, рис. 2) дает основания считать селя 05.08.1967 экстремальным и в то же время оценивать его объем отложений примерно в два раза меньше, чем указано в кадастрах [1, с. 92; 2, с. 98]. В кадастре [2, с. 98] указан расчетный объем твердых отложений 1029 тыс. м<sup>3</sup>.

На рис. 3 показаны результаты анализа изменений на моренном комплексе в верховьях р. Жиришкису. Наибольшие изменения произошли в нижней части комплекса – образовался врез шириной около 90–95 м, длиной более 400 м. Кроме этого, было выявлено движение поверхности моренного массива со средней скоростью около 1 м/год (смещение вала, отмеченного на рис. 3 желтой линией, за период 1957–2013 гг. составило 50 м).

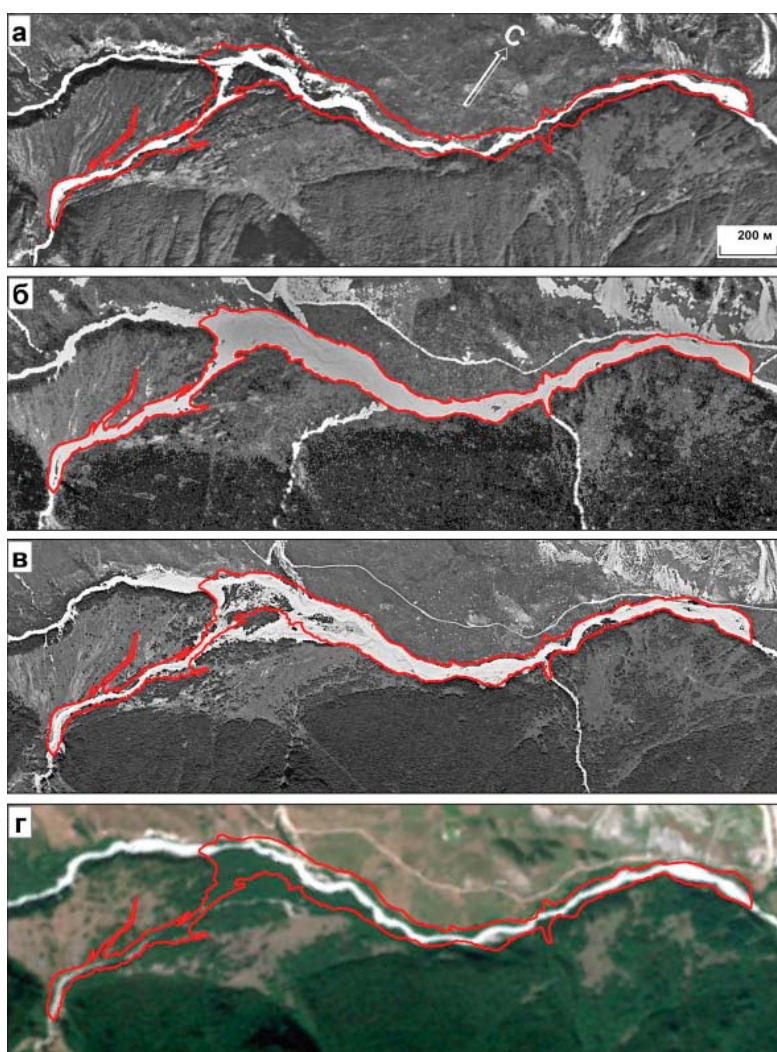


Рис. 2. Селепроявления на конусе выноса р. Жиришкису и в русловой зоне р. Черек Безенгийский в 1957–2023 гг.: *а* – аэрофотоснимок 15.08.1957, *б* – космоснимок Corona KH-4A от 13.08.1967, *в* – космоснимок Corona KH-4B от 20.06.1980, *г* – космоснимок Sentinel-2 от 01.09.2023. Красный контур на всех фрагментах – зона отложений селя по космоснимку 13.08.1967

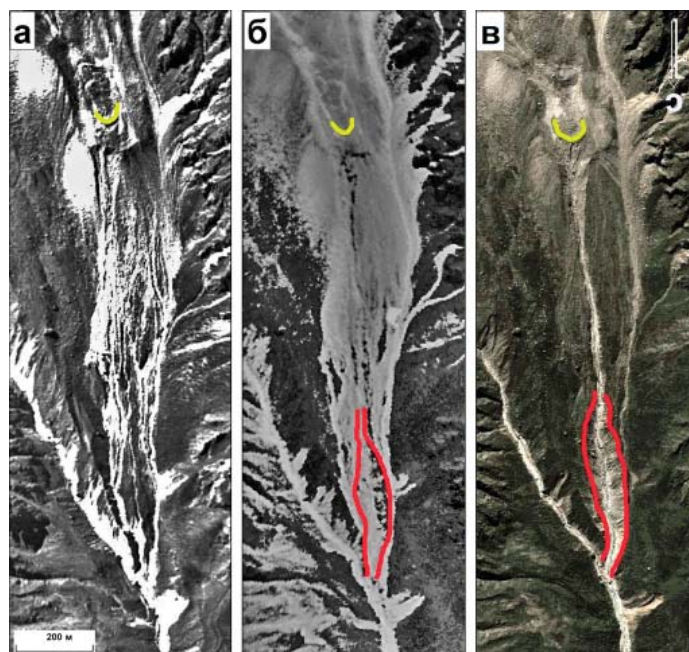


Рис. 3. Изменения на участке очага селей р. Жиришкису в 1957–2013 гг.:  
 а – аэрофотоснимок 15.08.1957, б – космоснимок Corona KH-4A от 13.08.1967,  
 в – космоснимок GeoEye-1 (Google Earth) от 04.09.2013

#### Селепроявления р. Думала

Площадь бассейна р. Думала (№ 21 на рис. 1) по данным авторов составила 77,51 км<sup>2</sup> (в кадастре [1, с. 92] – 82,7 км<sup>2</sup>, в кадастре [2, с. 98] – 83 км<sup>2</sup>). На рис. 4 показаны изменения на участке конуса выноса р. Думала за 1966–2023 гг.

На космоснимке 1967 г. видны следы селя 05.08.1967 г. в виде контура белого цвета площадью 125,8 тыс. м<sup>3</sup>. Внутри контура с границами в виде красной линии видно несколько небольших пятен черного цвета и в центре – пятно светло-серого цвета, которое на космоснимке 1966 г. было более темным.

Это позволило сделать вывод о том, что в этом месте толщина селевых отложений была минимальной, и объем отложений на конусе выноса не превышал 200 тыс. м<sup>3</sup>. В дальнейшем, по данным космоснимков 1980 г. (Corona KH-4B) и Sentinel-2 за период 2015–2023 гг., масштаб селепроявлений был значительно меньше – селевые отложения были сконцентрированы в левом русле. Следует отметить, что в русловой зоне р. Черек Безенгийский значительных изменений не было. Таким образом, объем отложений селя 1967 г. можно считать максимальным и примерно в 6 раз меньше, чем отмечено в кадастре [2, с. 98] (1246 тыс. м<sup>3</sup>). В общей

картине селепроявлений 1967 г. видны следы зоны промежуточной аккумуляции селя на участке впадения р. Укюсу (левый приток) в р. Думала и на конусах выноса боковых притоков. Кроме этого, значительной была активизация оползневых процессов на правом склоне долины р. Думала в 1,7 км выше устья (рис. 5).

Линия отрыва оползневых масс находилась на высоте около 350 м над руслом реки. Ширина зоны сползания составляла 130–180 м (фрагмент б, рис. 5). Оползневые массы за счет значительной скорости движения поднимались на высоту около 25–30 м и заваливали террасу на левом склоне долины р. Думала. В правой части зоны поражения оползня возник эрозионный врез, который наблюдается до настоящего времени (фрагмент г, рис. 5) и был очагом селя 1975 г. (фрагмент в, рис. 5).

Потенциал селевого очага р. Жиришкису можно оценить, сравнив с активностью подобных очагов и селепроявлениями в них. В целом моренный массив в верховьях р. Жиришкису имеет черты схожие и с каменными глетчерами, и с моренными пьедесталами, покрытыми движущимися ледово-каменными массами. На подобной движущейся массе языкообразного моренного массива сформировался сель в верховьях р. Султан-Гара-Су в 2022 г. [13].

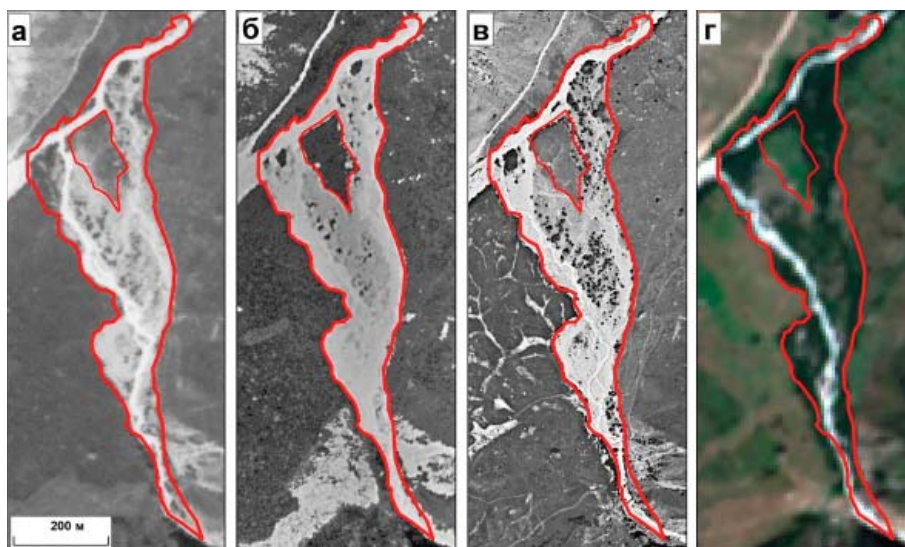


Рис. 4. Селепроявления на конусе выноса р. Думала в 1966–2023 гг.:  
 а – космоснимок Corona KH-4A от 13.08.1967, б – космоснимок Corona KH-4A от 13.08.1967,  
 в – космоснимок Corona KH-4B от 20.06.1980, г – космоснимок Sentinel-2 от 01.09.2023.  
 Красный контур на всех фрагментах – зона отложений селя по космоснимку 13.08.1967

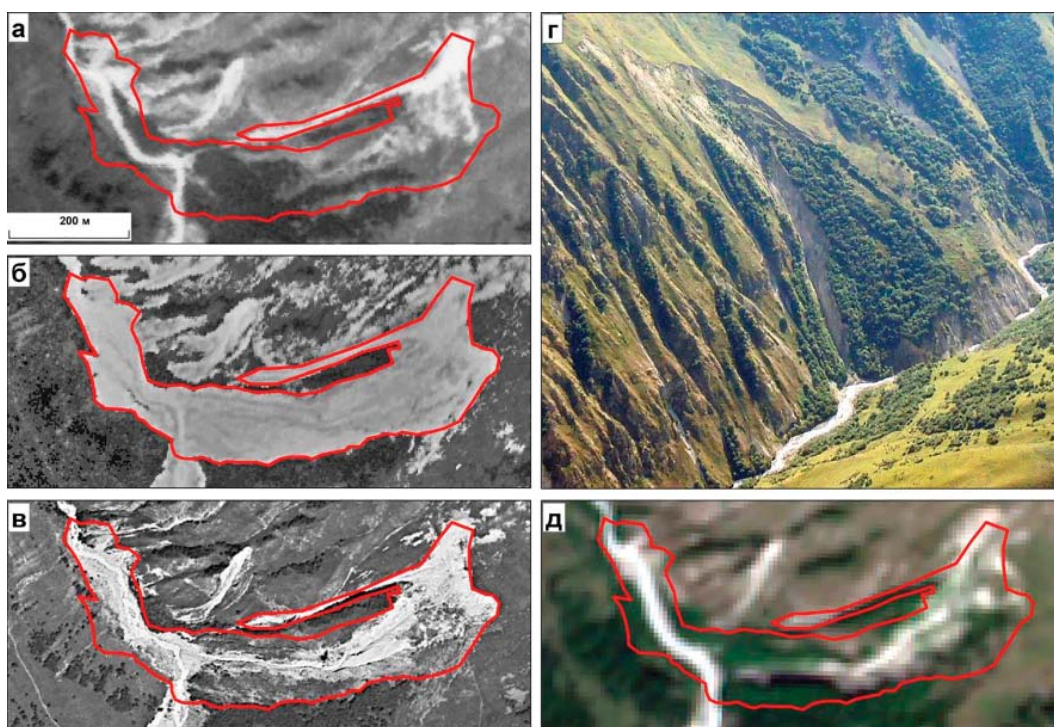


Рис. 5. Изменения на участке оползня в нижней части долины р. Думала:  
 а – космоснимок Corona KH-4A от 17.08.1966, б – космоснимок Corona KH-4A от 13.08.1967,  
 в – космоснимок Corona KH-4B от 20.06.1980, г – вертолетный снимок М.Д. Докукина от 26.08.2016,  
 д – космоснимок Sentinel-2 от 01.09.2023

В тыловой зоне массива, показанного на рис. 3, существует озеро площадью около 8 тыс. м<sup>2</sup>, сток с которого осуществляется по подземному каналу длиной около 1,2 км. При блокировании подземного канала в нем

может накапливаться большой объем воды, прорыв которого приведет к мощному водному импульсу и формированию селя (как в случае катастрофических селей в Таджикистане в 2002 г. и в Афганистане



2018 г. [14]) с дальнейшим размывом нижней части массива и выносом селевых масс на конус выноса и в русловую зону р. Черек Безенгийский. Следовательно, в результате эволюции моренного массива и прохождения ливней возможны селепроявления, как в 1967 г. и более.

В случае долины р. Думала можно предположить, что в будущем может повториться активизация оползня при прохождении ливней и сход селя такого же объема, как в 1967 г., так как рыхлообломочной массы на склоне еще достаточно.

В бассейне р. Черек Безенгийский к числу экстремальных селепроявлений можно отнести также селя 1936 г. по р. Шыкису с объемом выноса порядка 300 тыс. м<sup>3</sup> [1, с. 92; 2, с. 98], разрушивший старое поселение, а также селя 2022 г. по р. Мижирги [15], который имел объем отложений около 200 тыс. м<sup>3</sup> и впервые вышел на территорию альплагеря. Последний селя сформировался без участия ливней в результате насыщения водой массива береговой морены.

### Заключение

В результате анализа аэро- и космоматериалов получены данные о зонах поражения селевыми потоками конусов выноса р. Жиришкису, Думала и русловой зоны р. Черек Безенгийский в верховьях. Максимальные площади селевых отложений относятся к периоду массового схода селей 5 августа 1967 г., вызванному аномальными ливнями, и могут считаться экстремальными за 1957–2023 гг. Объемы селевых отложений, по оценке, немного больше 400 тыс. м<sup>3</sup>, что значительно меньше, чем указано в кадастрах селей. В будущем в случае повторения подобных аномальных ливней и эволюции моренных массивов возможны селепроявления таких же экстремальных масштабов, что будет представлять угрозу сельхозугодьям, а также автодороге и рекреационным зонам.

### Список литературы

1. Кадастр лавинно-селевой опасности Северного Кавказа / Под ред. Залиханова М.Ч. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 112 с.
2. Кадастр селевой опасности юга европейской части России / Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Беккиев М.Ю., Гедуева (Гяургиева) М.М., Перов В.Ф., Разумов В.В., Сейнова И.Б., Хучунаева Л.В. М. Нальчик: Феория, 2015. 148 с.
3. Сейнова И.Б. Условия формирования селевых потоков в Кабардино-Балкарской АССР (Центральный Кавказ): дис. ... канд. геогр. наук. Москва: МГУ, 1970. 161 с.

4. СП 479.1325800.2019. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства в районах развития селевых процессов. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2020. 41 с.

5. Докукин М.Д., Савернюк Е.А., Черноморец С.С. Экстремальные селепроявления в бассейне реки Черек Балкарский // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2022. Т. 7. № 4 (30). С. 54–61. DOI: 10.25744/genb.2022.88.75.007.

6. Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Шагин С.И. Зоны поражения селевыми потоками 1967 года в долине реки Баксан (Центральный Кавказ) // Природообустройство. 2023. № 1. С. 102–107. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-102-107.

7. Керимов А.М., Акшаяков З.Т., Анахаев Х.А. Селевой риск в долине реки Черек (Кабардино-Балкарской Республики) // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. X (в 2 ч.). Ч. 2. Коллективная монография по материалам X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Грозный: ООО «Формат», 2020. С. 442–445.

8. Акшаяков З.Т., Анахаев Х.А., Баттаев А.Ш. Выявление степени селеопасности бассейнов на р. Черек (Кабардино-Балкарской Республики) путем натурных и архивных изучений с составлением карты селевых бассейнов в программе ARCGIS // Экология и водное хозяйство. 2019. № 2 (02). С. 1–9. DOI: 10.31774/2658-7890-2019-2-1-9.

9. Батчаев И.И., Анаев М.Т. Исследования селевых потоков в Безенгийском ущелье (Центральный Кавказ, Кабардино-Балкарская Республика): динамика, последствия // Природообустройство. 2021. № 1. С. 107–111. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-107-111.

10. Марченко П.Е., Гедуева (Гяургиева) М.М., Джампуев Д.Р., Хутуев А.М. Анализ селепроявлений в верховьях реки Черек Безенгийский Кабардино-Балкарской Республики. Ч. 1 // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2016. № 3 (71). С. 40–49.

11. Марченко П.Е., Гедуева (Гяургиева) М.М., Джампуев Д.Р., Хутуев А.М. Анализ селепроявлений в верховьях реки Черек Безенгийский Кабардино-Балкарской Республики. Ч. 2 // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2016. № 4 (72). С. 50–61.

12. Марченко П.Е., Джампуев Д.Р., Гедуева М.М. Анализ подверженности селевым процессам верховьев реки Черек Безенгийский Кабардино-Балкарской республики (селепроявления и численная оценка фактической селевой опасности) // Устойчивое развитие: проблемы, концепции, модели: материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 75-летию председателя ФГБНУ Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», доктора технических наук, профессора П.М. Иванова. Нальчик: КБНЦ РАН, 2017. С. 169–176.

13. Мальнева И.В., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Акаев А.Р. Селевой поток в урочище Джилы-Су (Северное Приэльбрусье) 4 октября 2022 г.: причины и факторы // Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг при инженерных изысканиях: материалы Общероссийской научно-практической конференции. М.: ООО «Геомаркетинг», 2023. С. 111–118.

14. Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.Х. Катастрофические явления последних десятилетий, связанные с деградацией ледников и мерзлоты в горах (аналитический обзор) // Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87, № 7. С. 1065–1078. DOI: 10.31857/S2587556623070051.

15. Акаев А.Р., Шидугов И.Ж. Применение БПЛА для мониторинга экзогенных процессов в приледниковой зоне (на примере ледника Мижирги) // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. XIII / Науч. ред. И.А. Керимов, В.А. Широкова, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашин. М.: ИИЕТ РАН, 2023. С. 425–430. DOI: 10.26200/GST0U.2023.54.78.054.

УДК 911.6:338.48  
DOI 10.17513/use.38246

## ОПЫТ РЕКРЕАЦИОННОГО РАЙОНИРОВАНИЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ ПО ТИПУ ВОДНОГО ТУРИЗМА

Голубятникова Е.В.

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар,  
e-mail: kat.ko97@yandex.ru*

**Аннотация.** В статье представлен опыт рекреационного районирования Краснодарского края по структуре рекреационных занятий на водных объектах территории, выраженной в преобладающем типе туризма. Исследование выполнено при помощи метода районирования с целью систематизации данных о рекреационном использовании водных ресурсов в муниципальных образованиях края; выявления закономерностей этого использования в зависимости от географического положения объектов; определения перспективных направлений развития туризма в различных частях региона; подготовки обоснованных рекомендаций для повышения туристской привлекательности Краснодарского края. Проведенная научно-исследовательская работа, включившая в себя обработку имеющихся источников научно обоснованной информации и результатов исследований ученых и специалистов по вопросу рекреационного районирования, сбор первичных данных и выполнение территориального структурного анализа территориальных сочетаний водных объектов и рекреационного природопользования на них, а также последующую систематизацию и структуризацию полученной информации, позволила выделить в пределах Краснодарского края пять рекреационных районов, отражающих особенности использования водных объектов в туризме и рекреации на их территории. На основе характеристик каждого района представлен ряд рекомендаций, направленных, с одной стороны, на повышение туристской привлекательности выделенных рекреационных районов, а с другой – на уменьшение степени негативного антропогенного влияния на водные объекты.

**Ключевые слова:** Краснодарский край, рекреационное районирование, водный туризм, туристско-рекреационный комплекс, туристская привлекательность

*Работа выполнена по теме госзадания FZEN-2023-0012 «Фундаментальные аспекты рационального рекреационного природопользования и определения антропогенной нагрузки в контексте устойчивого развития туризма».*

## THE EXPERIENCE OF RECREATIONAL ZONING OF THE KRASNODAR TERRITORY BY TYPE OF WATER TOURISM

Golubyatnikova E.V.

*Kuban State University, Krasnodar, e-mail: kat.ko97@yandex.ru*

**Annotation.** The article presents the experience of recreational zoning of the Krasnodar Territory in terms of the structure of recreational activities on the water bodies of the territory, expressed in the prevailing type of tourism. The study was carried out using the zoning method in order to systematize data on the recreational use of water resources in the municipalities of the region; identify patterns of this use depending on the geographical location of objects; identify promising areas of tourism development in various parts of the region; preparation of sound recommendations to increase the tourist attractiveness of the Krasnodar Territory. The conducted research work, which included the processing of available sources of scientifically based information and the results of research by scientists and specialists on the issue of recreational zoning, the collection of primary data and the implementation of territorial structural analysis of territorial combinations of water bodies and recreational environmental management on them, as well as the subsequent systematization and structuring of the information received, allowed us to identify five within the Krasnodar Territory recreational areas, reflecting the peculiarities of the use of water bodies in tourism and recreation on their territory. Based on the characteristics of each area, a number of recommendations are presented aimed, on the one hand, at increasing the tourist attractiveness of the designated recreational areas, and, on the other, at reducing the degree of negative anthropogenic impact on water bodies.

**Keywords:** Krasnodar Territory, recreational zoning, water tourism, tourist and recreational complex, tourist attraction

*The work was carried out on the topic of state assignment FZEN-2023-0012 “Fundamental aspects of rational recreational environmental management and determination of anthropogenic load in the context of sustainable tourism development”.*

Рекреационное районирование – членение территории по принципу однородности признаков, характеру рекреационного использования. Главными признаками рекреационного районирования являются уровень рекреационной освоенности тер-

ритории и структура рекреационных функций (лечебной, оздоровительной, туристской, экскурсионной).

Вопросу рекреационного районирования посвящены труды многих ученых-географов XX–XXI вв. Первая работа по ре-

креационному районированию СССР предложена В.С. Преображенским, Б.Н. Лихановым и Ю.А. Ведениным (1973, 1980), где в том числе была дана характеристика выделенных рекреационных районов, а позже она была дополнена И.В. Зориным (1974). В 1980-х гг. рекреационная география получила наиболее широкое развитие на территории СССР, в том числе поднимались вопросы районирования. В этот период выходят труды Н.С. Мироненко и И.Т. Твердохлебова (1981, 1989), а также выпускаются сборники статей, посвященные этой теме, например «Районирование для целей организации отдыха и туризма» (1986). С середины 1990-х гг. начинается становление и развитие российской рекреационной географии, где одной из важнейших проблем становится рекреационное районирование территорий. Среди ученых, активно работающих по этому вопросу, в том числе в настоящее время, необходимо выделить работы Ю.Д. Дмитриевского (2000), Д.В. Николаенко (2001), И.В. Зорина и В.А. Квартальнова (2003), Б.Б. Родомана (1976, 2007), А.И. Зырянова (2009, 2013), В.И. Кружалина (2014), Д.В. Максимова (2019).

Вопросам рекреационного районирования Краснодарского края посвящены работы М.Л. Некрасовой [1], А.Е. Литвинова [2], В.В. Миненковой, М.Ю. Беликова [3], Т.А. Волковой [4], ряд идей и положений, из которых использовались в предложенном районировании.

Также при проведении исследования использовались материалы, освещающие правовую основу современных курортов [5] и представляющие научно обоснованную оценку современного состояния и перспектив развития санаторно-курортного комплекса Российской Федерации [6].

Цель настоящего исследования заключается в разработке рекреационного районирования территории Краснодарского края по типу использования водных объектов региона в целях туризма и рекреации, а также подготовке рекомендаций для повышения туристской привлекательности выделенных районов.

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

Основной метод, примененный в исследовании – районирование, который является важнейшим методом исследования пространственной самоорганизации социально-экономических систем. При помощи него Краснодарский край был разделен

на районы и подрайоны, различающиеся по ряду признаков, основным из которых является тип использования водных объектов в туризме и рекреации. Также в работе применялись сравнительно-географический, исторический и картографический методы.

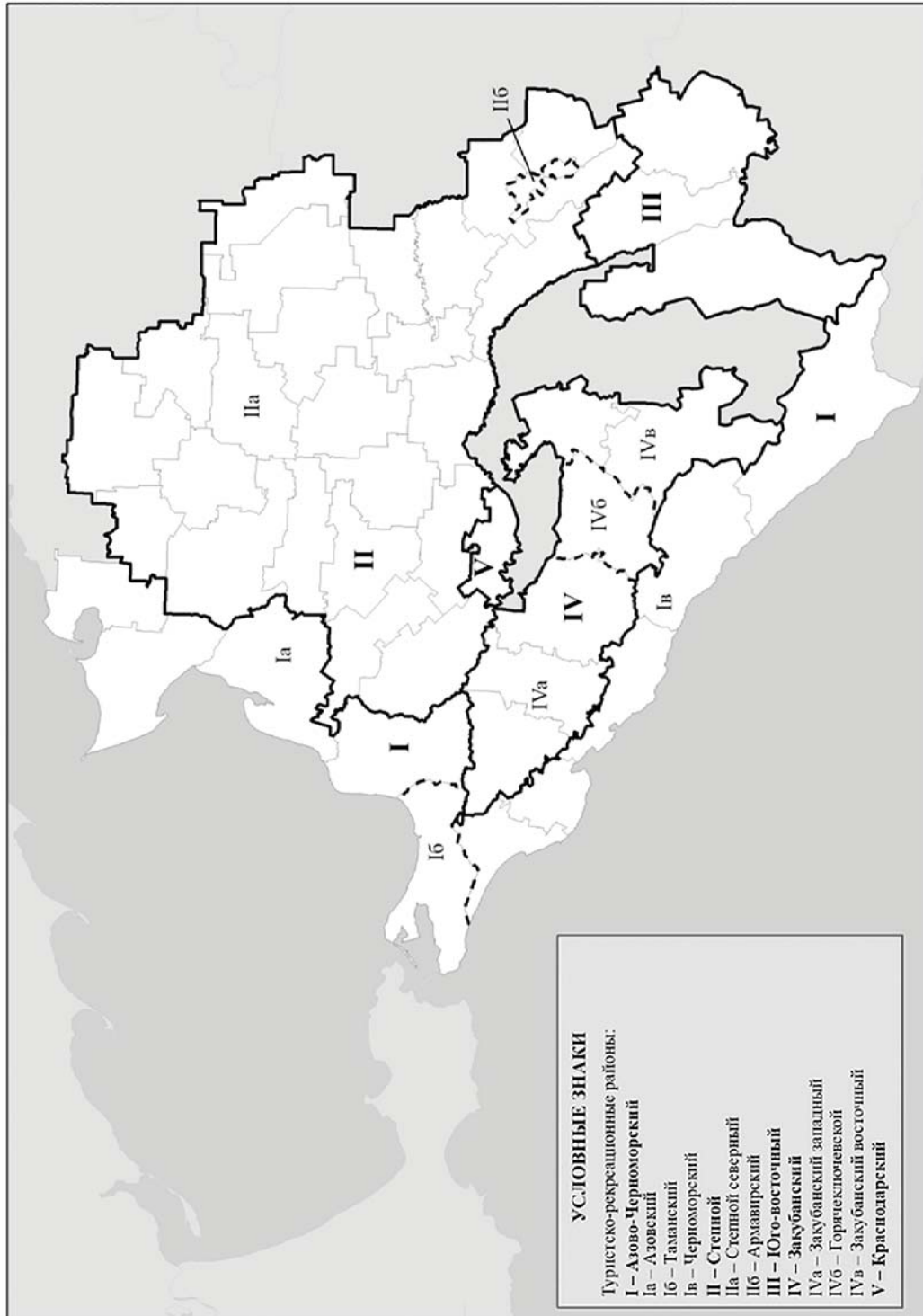
#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Для сбора первичных данных требуется осуществить территориальный структурный анализ территориальных сочетаний водных объектов и рекреационного природопользования на них [7]. Для каждого муниципального образования края выделен ряд наиболее вовлеченных в туристско-рекреационную деятельность водных объектов. На каждом из них выявлен вид туризма, получивший здесь наибольшее развитие. Для определения видов туризма, функционирующих на водных объектах региона, используется классификационная схема по мотивационно-целевому принципу.

В каждом муниципальном образовании и городском округе были выбраны преобладающие и дополнительные виды туристической деятельности. В результате проведенной работы получена таблица атрибутивной информации, на основании которой проведено районирование. В качестве районообразующих признаков была выбрана структура рекреационных занятий на водных объектах.

Проведенные исследования позволили выделить в пределах Краснодарского края 5 рекреационных районов, отражающих особенности использования водных объектов в туризме и рекреации на их территории (рисунок).

I. Азово-Черноморский рекреационный район занимает Краснодарское побережье Азовского и Черного морей. Площадь зоны – 19097 км<sup>2</sup>. Зона протянулась вдоль морской прибрежной полосы на 1200 км, включая примерно 550 км побережья Черного и 650 км – Азовского морей. Общим для выделенного района является распространение рекреационного туризма как основного типа в прибрежной полосе. Он выражен пляжным отдыхом. Общая протяженность пляжей здесь составляет 95,5 км. Основной тип курортов района – приморские климатические [8]. В зависимости от сочетания рекреационного туризма с другими видами в районе выделяются 3 подрайона: Азовский, Таманский и Черноморский.



*Схема рекреационного районирования Краснодарского края по характеру рекреационного использования военных объектов*

Иа. Азовский рекреационный подрайон занимает побережье Азовского моря (Славянский, Приморско-Ахтарский, Ейский и Щербиновский районы) площадью 8198 км<sup>2</sup>. Отличительная особенность подрайона – сочетание рекреационного, спортивного, специализированного и в меньшей степени лечебно-оздоровительного видов туризма. Широко распространен пляжный отдых (39 песчаных, песчано-ракушечных и ракушечных пляжей) в сочетании с катанием на различных типах водного транспорта; охота и рыбалка, набравшие особую популярность в лиманно-плавневой зоне р. Кубани; активные виды спорта на воде (соревнования по плаванию, гонки на сапах на Азовском море в рамках фестиваля Azov sports Fest, Кубок Краснодарского края по парусному спорту и краевые соревнования «Азовская волна»); лечение и оздоровление в санаториях и бальнеолечебницах на минеральных йодобромных водах (Славяно-Троицкое месторождение) и лечебных сульфидно-иловых гязях (оз. Ханское). Также туристов привлекает плантация индийского лотоса в лимане Замарайкин (хут. Садки).

Иб. Таманский рекреационный подрайон выделен в границах Темрюкского района, площадью 1956 км<sup>2</sup>. Подрайон выделяется сочетанием рекреационного и лечебно-оздоровительного видов туризма: пляжный (25 песчаных, ракушечных и гравийно-галечных пляжных территорий) и активный отдых на воде (катание на водном транспорте); лечение и оздоровление на сопочных псевдовулканических гязях (сернистые и нефтяные) и кремниевоборных термальных водах (пос. Кучугуры); охота и рыбалка в лиманах; экскурсии в «Долину лотосов» на Ахтанзовском лимане.

Ив. Черноморский рекреационный подрайон включает в себя Черноморское побережье Краснодарского края от границы с Республикой Абхазия до Таманского полуострова, общей площадью 8943 км<sup>2</sup>. Этот подрайон комбинирует развитие рекреационного и спортивного видов туризма: пляжный (489 песчаных, галечных и гравийно-галечных пляжей) и активный отдых на воде (катание на водном транспорте, дайвинг); популярны экскурсионные туристические маршруты (пешие, джипинг) к многочисленным гидрологическим природным достопримечательностям; имеет место лечение и оздоровление на сероводородных гязях Анапского района и минеральных сульфидных, йодобромных, углекислых,

мышьяковистых, сероводородных, радоновых водах МО Сочи; также распространен круизный туризм [9].

Иг. Степной рекреационный район занимает степную зону Краснодарского края, общей площадью 36632 км<sup>2</sup>. Основными направлениями развития туристической сферы являются в большей степени специализированный (преимущественно охота и рыбалка), а в меньшей степени рекреационный виды туризма. В зависимости от туристской специализации район подразделяется на два подрайона: Степной северный и Армавирский.

Иг1. Степной северный подрайон включает в себя все степные административно-территориальные образования Краснодарского края (в основном правобережье р. Кубань), общая площадь которых составляет 36352 км<sup>2</sup>. Главная туристская специализация водных объектов территории – охота и рыбалка, которые осуществляются на степных реках, а также в плавнях и лиманах. Здесь также проводятся соревнования по рыболовному спорту (Кубок России по ловле карпа, Чемпионат СКФО и ЮФО по ловле карпа, Кубок Карптэкл, Кубок Краснодарского края по ловле донной удочкой, Кубок им. А.Е. Рябцева). На степных реках создана система прудов, которые местные жители используют в рекреационных целях (пляжный отдых, катание на водном транспорте). По р. Челбас в Тихорецком районе осуществляется сплав на байдарках, рафтах, каяках. В Красноармейском и Тбилисском районах туристов привлекают плантации лотосов.

Иг2. Армавирский рекреационный подрайон занимает территорию городского округа Армавир, площадью 280 км<sup>2</sup>. Его выделение в отдельную группу аргументировано отличительной от всего района туристской специализацией водных объектов – рекреационной. Здесь получили развитие пляжный туризм и активный отдых на воде (катание на водном транспорте), а также сплавы по р. Кубань.

Иг3. Юго-Восточный рекреационный район включает в себя Мостовский, Лабинский и Отрадненский районы, общая площадь – 8022 км<sup>2</sup>. Главная туристская специализация – лечебно-оздоровительный и спортивный туризм. На территории района функционируют санаторий («Лаба», г. Лабинск), реабилитационный центр («Медуница», ст-ца Передовая) и многочисленные базы отдыха (пгт Мостовской, ст-ца Ярославская, ст-ца Костромская, г. Лабинск,

ст-ца Упорная, ст-ца Отрадная) на термальных и минеральных хлоридно-натриевых и йодобромных водах (Отраденская, Лабинская, Губская). Другим фактором притяжения туристов являются высокоаттрактивные горные ландшафты: ущелья, быстрые порожистые реки с каскадами водопадов, высокогорные озера и т.д. Это обусловило наличие большого количества туристских экскурсионных маршрутов и развитие спортивного туризма (трекинг, многодневные походы, рафтинг по рекам Малая Лаба и Лаба).

IV. Закубанский рекреационный район в физико-географическом отношении занимает Закубанскую наклонную равнину. Общая площадь составляет 10871 км<sup>2</sup>. Район специализируется на развитии спортивного и лечебно-оздоровительного видов туризма. В зависимости от туристской специализации и особенностей рекреационных ресурсов район подразделяется на три подрайона: Закубанский западный, Горячеключевской и Закубанский восточный.

IVа. Закубанский западный рекреационный подрайон охватывает Крымский, Абинский и Северский районы Краснодарского края, общей площадью 5347 км<sup>2</sup>. Он характеризуется преобладанием спортивного туризма, чему способствуют обилие туристических экскурсионных и трекинговых маршрутов различной категории сложности, наличие водоемов для катания на водном транспорте. Благодаря развитому водохозяйственному комплексу, большее значение на территории отводится охоте и рыбалке на закубанских плавнях, прудах, каналах и водохранилищах. Перспективным направлением является лечебно-оздоровительный туризм: в подрайоне имеется богатая база минеральных йодобромных вод (Ахтырско-Бугундырский участок в Абинском районе), пока еще не освоенных в туризме и рекреации. Планируется строительство санаторно-курортного комплекса «Ахтырская бальнеологическая лечебница».

IVб. Горячеключевской рекреационный подрайон целиком занимает МО г. Горячий Ключ, площадью 1755 км<sup>2</sup>. Этот подрайон характеризуется высоким уровнем развития лечебно-оздоровительного туризма. Здесь функционируют санатории, водолечебница и питьевые галереи на гидрокарбонатно-хлоридно-натриевых, сероводородных, бессероводородных и йодобромных минеральных водах. Горячий Ключ является курортом регионального значения. Также по территории муниципального образова-

ния проходят экскурсионные и трекинговые маршруты, в том числе на гидрологические объекты показа.

IVв. Закубанский восточный рекреационный подрайон занимают территории Белореченского и Апшеронского районов, площадью 3769 км<sup>2</sup>. Наибольшее распространение на водных ресурсах здесь получил спортивный вид туризма. По рекам Белая, Пшеха и Матузка с мая по октябрь осуществляются сплавы на рафтах, пакрафтах и байдарках, популярны водные походы. В Белореченском районе ежегодно проводятся краевые соревнования по рафтингу на Кубок Центра туризма и экскурсий Краснодарского края. Также широко развит экскурсионный туризм, по выделенному району проходит множество трекинговых маршрутов. Высокий потенциал имеет развитие лечебно-оздоровительного туризма на источниках минеральной гидрокарбонатной хлоридно-натриевой воды и йодобромной, борной, кремниевой термальной воды. Уже функционируют бальнеологический центр «Термы» в хут. Кубанском, водолечебница «Великовечное» в одноименном селе.

V. Краснодарский рекреационный район включает в себя МО г. Краснодар, занимающий площадь 841,36 км<sup>2</sup>. Наибольшее развитие здесь получил пляжный отдых на водных объектах городского округа. Однако купание запрещено на всех водоемах и водотоках территории, так как состояние воды по гигиеническим нормативам не соответствует требованиям, предъявляемым к местам для купания людей. Совместно с этим развиваются водные виды туризма и спорта: катание на катамаранах, сапах, байдарках, каноэ и каяках (оз. Старая Кубань), парусный спорт (Краснодарское водохранилище). В городе развивается лечебно-оздоровительный туризм – функционирует Краснодарская бальнеолечебница на минеральных йодобромных водах.

### Заключение

Проведенное районирование позволяет увидеть территориальные различия в использовании водных объектов в целях туризма и рекреации в различных частях Краснодарского края. В наибольшей степени рекреационной нагрузке подвержены природно-аквальные комплексы Азово-Черноморского рекреационного района вследствие высокого уровня развития туристско-рекреационного комплекса. Другие части края не испытывают сравнимую с побережьем рекреационную нагрузку, однако

независимо от этого необходимо придерживаться принципов рационального рекреационного природопользования при организации различных видов туризма.

В целях повышения туристской привлекательности выделенных рекреационных районов, а также уменьшения степени антропогенного влияния на водные объекты Азово-Черноморского района необходимо осуществить комплекс мер, направленных на развитие туристской инфраструктуры (дорожно-транспортной сети, коммунальных услуг, связи, средств размещения, объектов розничной торговли и общественного питания); разработку и реализацию эффективной маркетинговой стратегии (реклама, участие в выставках, организация событий и др.); улучшение качества услуг и т.д.

#### Список литературы

1. Некрасова М.Л. Районирование курортно-рекреационных территорий Краснодарского края и оценка их инвестиционной привлекательности: дис. ... канд. геогр. наук. Краснодар, 2005. 256 с.
2. Литвинов А.Е. Оценка рекреационного потенциала водных объектов горно-предгорной части Северо-Западного Кавказа: дис. ... канд. геогр. наук. Краснодар, 2013. 215 с.
3. Волкова Т.А., Миненкова В.В., Беликов М.Ю., Пономаренко А.А. Туристские кластеры как пространственные модели организации туристско-рекреационной деятельности (на примере Черноморского побережья Краснодарского края) // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ. 2017. № 133. С. 682–696.
4. Волкова Т.А., Антипова Ю.О., Иванько А.С., Перфильева Д.А. Рекреационное районирование как метод географических исследований // Туристско-рекреационный комплекс в системе регионального развития: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Краснодар, 11–15 апреля 2022 г.). Краснодар: КубГУ, 2022. С. 13–16.
5. Разумов А.Н., Адилев В.Б., Куликов А.Г., Львова Н.В., Пахомова Ю.А., Куклин Д.Н., Писковцева И.П., Шершakov А.А. Изменения, внесенные в законодательство Российской Федерации о курортах // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2023. № 100 (5–2). С. 8–9.
6. Фесюн А.Д. Современное состояние и перспективы развития санаторно-курортного комплекса Российской Федерации // Вестник восстановительной медицины. 2023. № 22 (1). С. 8–15.
7. Маньшин Е.М., Сидоренко Е.С., Жирма В.В. Рекреационное водопользование и водохозяйственное районирование в Краснодарском крае // Курортно-рекреационный комплекс в системе регионального развития: инновационные подходы. 2017. № 1. С. 169–171.
8. Нагалеvский Э.Ю., Голубятникова Е.В., Захарова И.Ю. Туристские водные объекты Черноморского побережья Кубани и проблемы их использования // Проблемы и перспективы развития туризма в Российской Федерации: сборник научных трудов VII Всерос. конф. с междунар. участием (Севастополь, 01 августа – 01 октября 2022 г.). Симферополь: КФУ им. В.И. Вернадского, 2022. С. 144–147.
9. Volkova T., Goretskiy V., Klimov N., Rudenko I., Nagalevsky E. Recreational use of the Black sea coast of Russia in Krasnodar krai: significance and sensitivity of natural complexes // Anais Brasileiros de Estudos Turístico-Abet: journal. 2023. Vol. 12. P. 1–10. DOI: 10.5281/zenodo.7806573.

УДК 911.9:502:338.48-44  
DOI 10.17513/use.38247

## ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЙ ТУРИСТСКИЙ БРЕНДИНГ

**Максимов Д.В., Волкова Т.А., Миненкова В.В., Рыжволова Э.А.**

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», e-mail: mist-next4@inbox.ru*

**Аннотация.** Создание бренда является одним из основных компонентов маркетинга и важнейшим процессом для специалистов в этом направлении. В современном мире бренд позволяет увеличить прибыльность и объем продаж предлагаемых услуг/товаров. Сегодня в условиях конкуренции тема брендинга становится одним из главных факторов, которые способствуют определению успешности той или иной территории. Анализ современного состояния территориального туристского брендинга регионов России стал основной целью исследования. Результаты исследования показали, что территориальные бренды в России еще не окончательно развиты, некоторые регионы до сих пор не используют все преимущества концепции брендинга. Несмотря на то, что некоторые популярные туристские российские направления смогли создать свой собственный бренд, к сожалению, они не смогли добиться уникальности и изобразить на нем все свои достоинства и особенности. На сегодняшний день брендинг территорий России находится на стадии развития. Для более эффективного продвижения своих регионов властям необходимо подробнее изучить все преимущества концепции брендинга и для развития туристской деятельности сформировать свой уникальный региональный туристский бренд. В ведущих туристских регионах страны уже ведется активная работа в области формирования единого туристского бренда. В частности, в Краснодарском крае был представлен новый логотип курортов региона, транслирующий всепогодность и круглогодичность туризма различных направлений.

**Ключевые слова:** брендинг, территориальный туристский бренд, туристский образ территории, регионы РФ, туризм, Алтайский край, Магаданская область, Краснодарский край

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научно-инновационного проекта № НИП-20.1/200.*

## TERRITORIAL TOURIST BRANDING

**Maksimov D.V., Volkova T.A., Minenkova V.V., Ryzhivolova E.A.**

*Kuban State University, e-mail: mist-next4@inbox*

**Annotation.** Building a brand is one of the main components of marketing, and the most important process for specialists in this direction. In the modern world, the brand allows you to increase the profitability and sales of the services/products offered. Today, in a competitive environment, the topic of branding is becoming one of the main factors that helps determine the success of a particular territory. Analysis of the current state of the territorial tourism branding of Russian regions has become the main goal of the study. The results of the study showed that territorial brands in Russia have not yet been fully developed, some regions still do not use all the advantages of the branding concept. Despite the fact that some popular Russian tourist destinations were able to create their own brand, unfortunately, they could not achieve uniqueness and depict all their advantages and features on it. Today branding of Russian territories is at the stage of development. In order to promote their regions more effectively, the authorities need to study in more detail all the advantages of the branding concept, and to form their own unique regional tourism brand for the development of tourism activities. Active work is already underway in the leading tourist regions of the country in the field of forming a single tourist brand. In particular, a new logo of the region's resorts was presented in the Krasnodar Region, broadcasting the all-season and year-round nature of tourism in various directions.

**Keywords:** branding, territorial tourist brand, tourist image of the territory, regions of the Russian Federation, tourism, Altai Krai, Magadan region, Krasnodar region

*The study was carried out with financial support from the Kuban Science Foundation within the framework of scientific and innovative project No. NIP-20.1/200.*

Сегодня в условиях повышенной конкуренции территориям необходимо уделять внимание продвижению и формированию положительного образа с целью улучшения экономики и инвестиционного климата, увеличению туристского потока и ресурсов для этого.

Как известно, территориальный брендинг призван играть наиважнейшую роль в формировании процесса эффективного продвижения российских территорий [1]. Между регионами происходит рост конкурентных отношений в борьбе за инвестиции.

Приток туристов привел к тому, что практически каждая территория стала создавать свой собственный уникальный имидж, демонстрировать имеющийся потенциал и преимущества [2].

Под концепцией территориального брендинга понимается стратегия повышения конкурентоспособности страны, городов и регионов. Данная стратегия необходима для удержания своих позиций на экономическом рынке и выхода на новые, расширяя при этом зоны своего экономического развития. Бренд территории включает в себя позиционирова-



ние привлекательных для туристов уникальных ресурсов и достопримечательностей. Туристский бренд является так называемой кульминацией широкого спектра направлений деятельности. Благодаря брендингу у регионов появляется возможность создать свой собственный, уникальный имидж, который выделит все достоинства и позволит познакомиться с туристским потенциалом ближе. Региональный бренд – это составная часть бренда самой страны, что подтверждается актуализацией технологии концепции брендинга в современной региональной и международной политике.

Аналитический обзор современного состояния территориального туристского брендинга регионов России стал основной целью исследования.

### **Материал и методы исследования**

Информационной базой исследования стали материалы аналитических центров, научные публикации, исследовательские отчеты. Методы исследования: анализ научно-методических источников, обобщение теоретического материала. Информационная основа строится на официальных статистических и аналитических данных международных экономических организаций, таких как ООН, ЮНВТО, ВТО, ЕС и другие, а также на официальных статистических данных российских министерств. В работе также были использованы аналитические и статистические материалы, подготовленные международными неправительственными организациями в области туризма.

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

Безусловно, брендинг конкретной территории привлекает новые потоки туристов. Обусловлено это более частым упоминанием данной территории или региона в средствах массовой информации, обновлением медийного образа, привлечением внимания россиян, иностранных граждан и т.д. [3]. Туристский образ территории (ТОТ) – это устойчивое географическое представление о ней, которое привлекает туристов. Благодаря своей культурно-исторической насыщенности ТОТ можно отнести к образам высшего уровня образно-географической иерархии (туристский бренд, образ, имидж). Формирование ТОТ достаточно сложный процесс, поскольку его единство обеспечивается взаимосвязями разных по структуре и генезису социально-географических факторов, явлений или событий [4]. На основе

особенностей региона (национальных традиций, исторической памяти, идеологии и т.п.) создается целостный образ, на основе которого территория становится узнаваемой среди мирового сообщества. Помимо этого, в формировании ТОТ играют немаловажную роль такие человеческие факторы, как информация из СМИ, Интернет, мифы. Все факторы, которые влияют на создание ТОТ, взаимообусловлены, и в то же время иерархически структурированы. Туристский бренд – это важнейший фактор, определяющий категории типов информации, поскольку после его создания появляется доминантное определение привлекательности ТОТ для туристов [4]. Типы туристских брендов можно рассмотреть в таблице 1.

Таким образом, среди отличительных черт пространства выделяют базовые факторы, формирующие стержневые элементы ядра образа, которые сформировавшись, почти не испытывают изменений и обеспечивают идентификационный базис, то есть репрезентацию общества, страны и территории в международной среде. Формирование ТОТ является ядром, на которое в будущем наслаивается информация, переданная с помощью коммуникации. При таком исходе формируется субъективный ТОТ, но если к таким характеристикам добавить само посещение определенной территории, то при таких условиях будет создан объективный ТОТ. Однако, помимо этого, брендинг требует активного внедрения своей визуальной составляющей в виде символа (логотипа), отражающего стиль, атмосферу и настроение региона [4]. Бренд территории формируется на основе трех стратегий развития: естественная, искусственная и комбинированная. Естественная стратегия создается сама, т.е. без участия человеческого фактора и без влияющих извне факторов. Искусственная – разрабатывается специально человеком, который сразу ставит перед ней определенные цели и задачи, решаемые с помощью PR или социальных технологий. Комбинированная – использует естественные преимущества региона и при этом добавляет искусственные для создания более яркого образа. Архитектура бренда при формировании образа территории должна активно следить за визуальной айдентикой, поскольку построение бренда происходит благодаря определенным графическим элементам (логотипу, шрифту, цвету и т.д.). Элементы при этом выполняют коммуникативные функции: информационную и манипулятивную.

Таблица 1

## Типы туристских брендов

Типы туристских брендов	Примеры
Регион, часть территории, местность, побережье	Кавказ, Швейцарские Альпы, Крым, Тибет, Камчатка, Черноморское побережье Кавказа
Природные объекты (реки, озера, вершины, водопады)	оз. Байкал, Волга, Эверест, Везувий, Ниагарский водопад
Памятники культуры и искусства (дворцы, усадьбы, храмы, дома, музеи и др.)	Пирамида Хеопса, Тадж-Махал, Собор Василия Блаженного, Петергоф, Эрмитаж, Эйфелева башня, Парфенон, Колизей, усадьба А.С. Пушкина в Михайловском
Брендовые маршруты, туры	«Золотое кольцо России», «Большой Чайный путь», «Замки Луары», «Ожерелье Санкт-Петербурга»
События, мероприятия, фестивали, праздники	Карнавалы в Бразилии, Праздник фонарей в Китае, Фестиваль томатов в Испании, Праздник красок Холи в Индии
Природные явления	Белые ночи, северное сияние, нерест ценных пород рыб, цветения альпийских лугов
Герои: исторические личности, народы, вымышленные персонажи, в том числе места, связанные с их жизнью	Мощи Серафима Саровского в Дивеево, резиденция Деда Мороза в Большом Устюге, Терем Снегурочки в Костроме, тропа инков в Перу, резиденция Далай-ламы, мавзолей В.И. Ленина, Карлов мост в Праге
Услуги	Тайский массаж, лечение грязями Мертвого моря, Кавказские минеральные воды, финские сауны
Еда, напитки	Устричные базары Франции, винные туры в Абрау-Дюрсо, сыроварни Швейцарии, пивные заводы Чехии, чайные плантации на Цейлоне

Примечание: составлено авторами по данным [5; 6, с. 43].

Таблица 2

## Степени лояльности узнаваемости территории целевой аудиторией (ЦА)

Степень лояльности	Пример
Первая – осведомленность территории	ЦА знает только о существовании территории
Вторая – знание о территории	ЦА ознакомлена с некоторыми фактами о территории и может составить определенный образ о ней
Третья – благорасположение к территории	ЦА знает о территории больше позитивной, чем негативной информации
Четвертая – предпочтение территории	ЦА ознакомлена с преимуществами территории и свободна анализировать и сравнивать ее с другими
Пятая – убежденность в целесообразности «пользования» территорией	ЦА ознакомлена с территорией и ее брендом и выражает желание посетить ее не один раз. Инвесторы уже готовы вкладывать, сторонние группы влияния – оказывать помощь, а потенциальные жители – переезжать
Шестая – принятие решений воспользоваться территорией	Здесь достигаются все цели концепции брендинга и маркетинга

Примечание: составлено авторами.

Под информационной понимаются основные факторы о территории, а под манипулятивной – преимущества и особенности. Территориальный бренд является собирательным образом, сформировавшимся на основе преимуществ, достоинств региона, которые позиционируются в поле имиджа и четко выделяются среди других.

В настоящее время такие подходы к степени лояльности помогают при архитектуре

территориального бренда как собирательного образа. Благодаря этим знаниям потребитель сначала сам выстраивает ассоциативный образ с регионом, а уже с помощью территориального бренда закрепляет его и создает собственную степень лояльности. Степени лояльности приведены в таблице 2.

При создании бренда необходимо опираться на преимущества и особенности региона для того, чтобы турист сразу

переходил к последней степени лояльности и выражал желание принять решение воспользоваться территорией. При создании бренда следует исключать негативные аспекты, но всегда рассматривать их и стараться предусмотреть план действий по их исправлению. Таким образом, можно сделать вывод, что территориальный бренд является определенной сетью визуальных (смысловых) аспектов, знание которых позволяет увеличить турпоток и привлечь инвестиционные вложения в регион. Кроме того, архитектура территориального бренда состоит из факторов, оказывающих влияние на знание, предпочтения и лояльность. У туристов влияние имеет изменяющийся характер, и с течением определенного времени может меняться, дополняться, усиливаться или уменьшаться. Это зависит от ключевых аспектов, с которыми взаимодействует потребитель, и в результате с какими знаниями и эмоциями он остается. Поэтому можно сделать вывод, что бренд не ограничивается только визуальными символами и группой лиц, заинтересованных на одной площадке. Территориальный бренд – собирательный образ, включающий в себя аспекты местности, которые при узнаваемости потребителями соединяются в цепочку и определяют ассоциациями.

Сегодня развитие территориального брендинга в России становится все популярнее. Каждый регион старается рассказать о своих преимуществах, создать лаконичный, смысловой и привлекательный бренд для того, чтобы привлечь как можно больше туристов и инвесторов. Бренд туристской дестинации является особой творческой идеей, которая символизирует основные ценности и ресурсы любого российского региона. Только после создания положительного отношения товара/услуги и потребителя с помощью брендинга концепция становится фактическим брендом. Задача каждого территориального бренда заключается в создании и усилении положительных ассоциаций и изменении неблагоприятных стереотипов, которые присутствуют в российских регионах. Чаще всего концепцию брендов используют в регионах ЦФО, ЮФО и в СКФО, остальные регионы находятся на стадии выбора концепции и создания своего бренда. Например, такие популярные туристские направления, как Республика Татарстан и Ленинградская область, имеют свои уникальные бренды, благодаря чему поток туристов в эти регионы только увеличивается.

Ленинградская область активно старается привлечь к себе как можно больше туристов, уделяет этому процессу большое внимание и активно занимается продвижением всех своих преимуществ. Ленинградская область является перспективным направлением для отдыха в России. В 2017 г. регион активно продвигал свои исторические достопримечательности, в рамках чего особое внимание было уделено истории области и культурному наследию, а уже в 2018 г. в регионе был объявлен год туризма. Однако территория столкнулась с некоторыми проблемами: недостаток турпотока, слабое развитие внутреннего туризма, недостаточно развитая реклама; в результате чего туристы отдавали предпочтение отдыху в других российских регионах. Для решения всех этих проблем были поставлены определенные цели: развивать и популяризировать внутренний туризм, начать активное продвижение своих преимуществ для отдыха, разработать новые туристские маршруты, а также создать свой уникальный бренд. Сегодня с каждым годом поток туристов увеличивается. В 2022 г. Ленинградскую область, по данным властей, посетили более 6 млн туристов, что на 23% больше, чем в 2021 г. Бренд Ленинградской области был создан в 2017 г. брендинговым агентством ENDY. Комитет по туризму Ленинградской области обратился к компании с запросом создать бренд для привлекательности имиджа региона, для увеличения туристского потока и для популяризации продуктов местных производителей. Поскольку очертания региона на карте напоминают «бабочку», которая раскинула «крылья» от Ладожского озера до Балтийского моря, ENDY решили взять за основу эту идею, поскольку образ «бабочки» олицетворяет чистоту и красоту природы. В стилизованную и упрощенную форму крыльев бабочки вписали символы, описывающие основные туристские направления территории. Каждое крыло бабочки описывает определенный вид туризма в регионе: исторический, экологический, патристический и религиозный. Уникальность его также состоит в том, что графичные секторы крыльев могут меняться в зависимости от контекста использования логотипа. В 2021 г. туристский бренд Ленинградской области одержал победу в профессиональном конкурсе «Туристский бренд: лучшие практики», что еще раз подчеркивает его успешную реализацию и эффективное продвижение. Таким образом, поскольку в регионе созданы благоприятные условия для

развития туристских направлений, данный бренд достаточно грамотно отражает всю концепцию Ленинградской области.

Республика Татарстан, столицей которого является Казань, благодаря своему географическому положению, культурно-историческим и природным ресурсам в регионе развивает различные виды туризма. Сегодня регион является одним из самых развитых регионов с точки зрения образования, экономики и промышленности. Поскольку развитию туристской индустрии в регионе уделяется особое внимание, в 2014 г. Правительство Татарстана представило новый туристский бренд территории под названием «Наследие Татарстана», основная цель которого – увеличить турпоток и инвестиции в регион. Проект был реализован совместно с Центром стратегических коммуникаций «Апостол». Логотип связал между собой особенности татарского архетипа, идеологию и программу его международного развития. Идеология вносит вклад в позиционирование гражданской идентичности жителей Татарстана, в котором проживает более 170 народностей и этносов. Оттенки красного цвета взяты за основу визуального стиля брендинга. Они также имеют символизирующее значение, которое отображает культурные традиции республики. Ярко-красный цвет обозначает славянские традиции, светло-красный – монгольские, а темно-красный – болгарские. Логотип Татарстана подразумевает под собой 10 качеств, которые формируют туристский образ региона: скорость, выносливость, достоинство, пылливость, чутье, следование традициям, мастерство, единство, упорство и целеустремленность. Основная цель создания бренда – реализовать потенциал развития республики. Благодаря бренду Татарстан повышает свою туристскую привлекательность и увеличивает турпоток. Только за 2022 г. республику посетили, по данным Росстата, 3,7 млн туристов, что на 12% больше в сравнении с 2021 г. А за первый квартал 2023 г. туристский поток уже составил около 700 тыс. чел., это на 15% больше, чем в 2022 г. На апрель 2023 г. отели на майские праздники были забронированы на 85%.

Алтайский край продолжает активное развитие своих туристских направлений. Основными видами туризма в регионе являются лечебно-оздоровительный, горнолыжный, событийный, познавательный, а также рафтинг. Сегодня политика края ставит перед собой цель по привлечению инвесторов для того, чтобы улучшалась государ-

ственная поддержка, развивалась инфраструктура, укреплялась внутренняя и внешняя экономика, что в результате приведет к увеличению турпотока. В 2015 г. регион совместно с екатеринбургской компанией Newton PR&Communications представил новый туристский бренд со слоганом «Все настоящее!». Создание данного бренда заняло у разработчиков больше года, а стоимость его составила 1,2 млн руб. Бренд состоит из сердца, нарисованного широкими мазками зеленого цвета. Контуры сердца обозначают границу региона на карте России. Слоган помогает понять, что основа региона состоит из первозданной чистоты и экологичности территории. Поскольку многие ассоциируют регион с суровостью и неприветливостью, дизайнеры постарались развеять этот миф, сделав акцент на главных преимуществах и на дружелюбии и гостеприимстве местного населения. После создания бренда началась активная работа по его внедрению и продвижению.

Магаданская область в 2020 г. презентовала свой туристский бренд. Основными видами туризма, которые активно развивает регион, являются спортивный, в него входят все пешие, лыжные походы, рафтинг, рыбалка, познавательный, научный, этноэкологический. Его созданием занималось издательство «Охотник» под руководством Андрея Осипова. За основу был взят главный рельеф местности – горы. Символом Магаданской области стала стилизованная буква «М», по очертаниям напоминающая горы. Знак дополнили тремя точками, которые должны были вызвать у зрителей ассоциацию с солнцем. По эвенкской культуре такой узор знаменует начало дня. На создание бренда компания потратила около месяца. Помимо значения с точками и горами, бренд характеризуется оптическим феноменом, связанным именно с Магаданской областью, – гало, или «ложные Солнца». Такой феномен появляется из-за отражения Солнца в кристаллах льда в атмосфере.

Калининградская область – самый западный субъект РФ, известен производством янтаря, глины, гравия и каменной соли. Сегодня Калининградская область является одним из популярных туристских направлений. Популярными видами туризма в крае являются познавательный, этнический, лечебно-оздоровительный, а сельский – только начинает привлекать туристов. Однако одно из самых популярных направлений в туризме до сих пор остается без брендинга. В 2014 г. правительство региона

объявило конкурс на создание туристского бренда и предложило сумму в 995 тыс. руб. Петербургской компании «Феномен» удалось выиграть конкурс и представить жителям шесть вариантов туристского бренда. Однако ни один из предложенных брендов не нашел отклика в сердцах жителей, и поэтому контракт с фирмой пришлось расторгнуть. После разработать бренд региону уже бесплатно решила дизайнерская студия Артемия Лебедева. В основу бренда легла корона, которую раньше размещали на всех гербах и отличительных знаках Кёнигсберга. Помимо этой ассоциации, корона связана с несколькими символами, которые можно рассмотреть на бренде. В контрформе короны расположились 2 якоря, в центре – дерево, а на боковых элементах – хвосты осетров. Бренд указывает на близость с морским побережьем и богатые природные ресурсы территории. Цветовая гамма состояла из красных и белых цветов, поскольку они связываются с гербом Альтштадта – первого городского поселения у стен Королевского замка. Разработчики утверждали, что бренд скрывает более глубокий смысл. Например, на Куршскую косу указывают петли каллиграфических элементов, которые напоминают Танцующий лес, и дугообразные штрихи в букве «О», взаимосвязанные с песчаными дюнами. А также на янтарь указывают точки в виде ромбов сверху буквы «О». Однако многие раскритиковали именно эти точки, поскольку возникла ассоциация с Кёнигсбергом. Таким образом, бренд Артема Лебедева является перспективным решением с точки зрения узнаваемости и продвижения региона. В целом бренд соответствует региону, мог бы выполнять все свои функции и стал бы узнаваем. Но в апреле 2023 г. регион объявил об отказе от данного бренда из-за сложностей в печати и полиграфии. Поэтому был предложен новый более простой вариант бренда Калининградской области. Здесь было решено отказаться от основных ассоциаций с регионом: готикой, янтарем и т.д. Данный бренд представляет собой надпись: «Калининградская область» на фоне короны. Однако власти отмечали, что это не корона, а условное обозначение достопримечательностей, таких как морские волны и формы крыш домов.

Республика Крым богата культурно-историческими и природными ресурсами: морями, степями, горами, пещерами, пляжами и т.д. Крым является одним из основных туристских направлений России. Несмотря на закрытие аэропорта в Симферополе и не-

которые проблемы с логистикой, за летний период 2022 г. турпоток в регионе составил 4,2 млн туристов, что только на 19% ниже, чем за аналогичный период 2021 г., который, в свою очередь, был рекордным. Турпоток, по данным Росстата, в 2021 г. превысил 7 млн чел., а в 2022 г. с января по август турпоток составил 5,3 млн туристов. Большая часть – более 80% – посетили республику на автомобильном транспорте, и только 17% по железной дороге. Регион активно развивает свои виды туризма и, помимо туристов, привлекает инвесторов. На поддержку туризма и компенсацию снижения турпотока в Крыму в 2023 г. было решено направить 2,7 млрд руб.

Поскольку развитие региона продолжается, первый раз концепция брендинга была затронута в Крыму еще в 2011 г. Тогда брендом региона была морская раковина со слоганом «Крым – жемчужина мира». Однако сегодня необходимо совершенствоваться и искать новые идеи для эффективного привлечения туристов и инвестиций. Поэтому в 2016 г. министерство курортов и туризма Крыма представило официальный туристский бренд республики, разработанный студией графического дизайна «О! Степановна». В марте 2015 г. был объявлен открытый конкурс идей на создание бренда и слогана, где участие могли принять все граждане, в том числе студенты и школьники. Участники предоставляли одну или несколько работ, которые должны были включать ассоциации и преимущества региона. В декабре туристский бренд, состоящий из трех частей: платформа бренда, графическая часть и фирменный стиль, был представлен жителям региона. Таким образом, на его создание ушло почти 2 года и был потрачен 1 млн руб. Его основная идея заключалась в слогане: «Я.Крым. Точка притяжения», где первая часть позволяет персонализировать территорию и выступать в диалоге с туристом или другим потребителем от первого лица, а вторая – ассоциируется с достопримечательностями Крыма, которые активно посещают путешественники. Помимо этого, стоит отметить цветовые решения бренда. Буква «Я» окрашена в желтый, розовый, зеленый и синий цвета, что символизирует времена года, и привлечение туристов круглый год. Остальные буквы выкрашены в синий цвет, что позволяет сделать акцент на пляжно-купальном туризме и морском отдыхе.

Ростовская область активно развивает пляжно-купальный, спортивный, экологи-

ческий, гастрономический, деловой и познавательный туризм. Путешественники, приезжающие на Азовское море, совмещают такой туризм с просмотром всех близлежащих достопримечательностей. Например, посещают природный парк «Донской», где находится более 40 тыс. га уникальных ландшафтов. Кроме того, его особенностью является наличие разнообразных видов растений: более 1 тыс., и богатый животный мир: свыше 800 видов. Еще одним из привлекательных мест региона является природный памятник «Ростовский», где обитают дикие лошади – донские мустанги. Помимо этого, заповедник получил статус федерального значения ЮНЕСКО. В апреле 2018 г. на фестивале «Мир без границ» был представлен официальный туристский бренд Ростовской области. Символом региона стал красный конь, автором которого стала компания «Город-Парк». Главные особенностями области являются атмосфера казачьей вольности, щедрость, многоликость и хлебосольство. Поэтому яркий конь бьет копытом на фоне слогана «Вольный Дон». С точки зрения графического дизайна бренд выполняет свои функции: он яркий, запоминающийся и имеет гармоничное сочетание графики и шрифта. Основным цветом выбран красный, что также, в свою очередь, привлекает внимание. Самым эффективным в решении при создании бренда стало то, что его создавали не для того, чтобы в дальнейшем познакомить людей с ним и объяснять его значение, а реализация бренда осуществлялась на основе предпочтений и мнений разной целевой аудитории. Таким образом, бренд в виде коня сразу вызывает ассоциации вольности, степей и свободы, открытых горизонтов, благодаря чему хочется не только посетить регион, но и вернуться туда. Поскольку Ростовская область многогранна, создать туристский бренд, который отражает все особенности и достоинства территории, является непростой задачей. Для символа был выбран красный конь, который полностью отражает энергию, стихию и вольный нрав региона. Территориальный бренд выполняет все функции, и поскольку его активно продвигают предприниматели, распространяющие знак на своей продукции, бренду удастся увеличить туристский поток и привлечь большое количество инвесторов в Ростовскую область.

Архангельская область активно развивает такие виды туризма, как культурно-исторический, познавательный, экологический,

экстремальный, а также охота и рыбалка. В 2015 г. регион решил начать разработку собственного туристского бренда, и уже в феврале 2016 г. был представлен новый бренд Архангельской области. Разрабатывала туристский бренд компания «Point. Точка развития» под руководством Натальи Рыбальченко, представившей окончательный вариант нового логотипа. В основу идеи бренда легла «Птица счастья», ставшая символом региона. Авторы решили изобразить птицу, раскрывающую все разнообразие впечатлений, которое ждет туристов. В нем скрываются все достоинства региона. Под голубым цветом авторы передали Арктику, белых медведей и моря, под синим цветом – историческое название региона – Поморье, под зеленым – таежные леса и северное сияние, под розовым – архипелаг в Белом море Соловки, административный центр области г. Архангельск, космодром Плесецк и г. Северодвинск, а под желтым – деревянное зодчество, музей «Малые Корелы», морошку и землю Франца-Иосифа. Авторы хотели передать всю уникальность и особенности региона с помощью такого нестандартного бренда.

Хабаровский край развивает такие виды туризма, как экологический, деловой, познавательный, событийный, экстремальный, этнический, а также охота и рыбалка. Кроме того, территорию населяют коренные народы, поэтому у туристов есть возможность ознакомиться с местными обычаями, традициями, кухней и историей. В регионе местные жители определили свои главные достопримечательности и включили в него амурского тигра, систему гор Дуссе-Алинь, высокогорное озеро Амут, Шантарские острова, древние петроглифы эпохи неолита, лотосы и Амурский мост. Благодаря своим уникальным ландшафтам и природным условиям регион активно посещают туристы. Хабаровский край продолжает развивать свои туристские возможности для привлечения еще большего количества путешественников, поэтому в 2022 г. был создан новый туристский бренд региона.

Логотип разработала команда регионального министерства туризма. В основу идеи создания легли символы региона – кит и самолет. Бренд состоит из графического элемента – стилизованного под самолет кита, и шрифтового начертания «Хабаровский край» со слоганом «Родина китов и самолетов», что позиционирует край как территорию, которая является крупным промышленным центром, но одновременно

бережно охраняет свои природные ресурсы. «Китосамолет» смог объединить в себе главные отличительные черты – промышленность и первозданную природу. Вдохновением для создания бренда стали Комсомольский авиастроительный завод и Шантарские острова. Таким образом, авторы бренда выбрали удачное сочетание цветов и концепции, это поможет придать краю узнаваемость, а также увеличит турпоток и привлечет новых инвесторов.

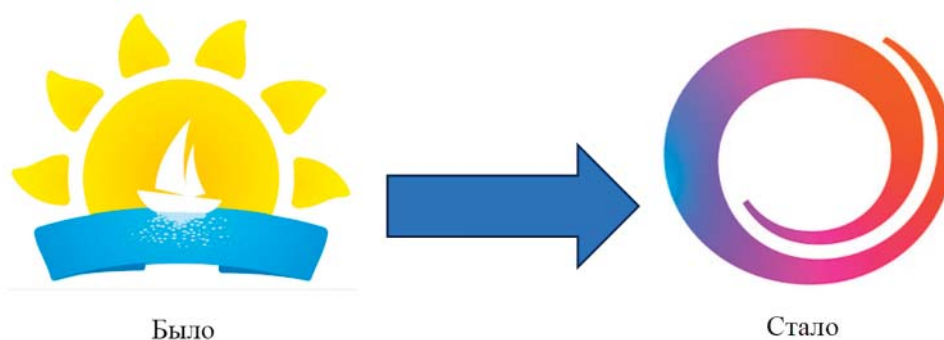
Ненецкий автономный округ (НАО) расположен на северо-востоке европейской части России. Из-за своего сурового климата в регионе развивается экстремальный туризм, арктический, экологический, культурно-познавательный, этнографический, а также охота и рыбалка. Самыми популярными видами туризма являются арктический и экстремальный. «Арктический» туризм в Ненецком автономном округе привлекателен для фанатов снегоходов, а также собачьих и оленьих упряжек. В 2011 г. компания Notamedia создала туристский бренд НАО, основной его идеей стала «северо-европейская кладовая России». Северное и европейское положение является отличием от Коми и ЯНАО, здесь есть также большие запасы ресурсов полезных ископаемых. Создавался бренд на основе местной символики региона: герба и флага. В основу логотипа легли люди, олени, рыба и нефть. Они были представлены в виде «иконок», стилистика которых сохраняет преемственность символов и национального узора. Цветовая палитра состоит из различных оттенков синего, который также указывает на особенности региона: низкие температуры, небо, снег, северное сияние. Данный логотип удачно описывает преимущества НАО, и, несмотря на то что он был создан более 10 лет назад, бренд все еще актуален и способен привлекать туристов и инвесторов.

Курорты Краснодарского края – российский бренд, используемый для популяризации отдыха на Азовском и Черноморском побережьях; в горно-предгорных территориях Краснодарского края уже 20 лет используется российский бренд «Курорты Краснодарского края». В его рамках на российском и международном уровне продвигаются курортные города и рекреационные местности края [7]. Данный бренд был запущен в 2002 г. С тех пор туристский поток вырос в 4 раза (с 5 до 19 млн чел. в год). «Курорты Краснодарского края» – один из самых сильных региональных туристских брендов на внутреннем российском

рынке. Но если 20 лет назад Краснодарский край ассоциировался у всех с жарким солнцем и теплым морем, то сейчас регион представляет обширный спектр услуг гостям круглый год. Более того, согласно данным статистики, одно из самых популярных туристских направлений в России – именно Краснодарский край. Из этих же данных следует, что в 2021 г. регион посетили более 16 млн чел. Что интересно, именно на межсезонье (то есть вне периода летних отпусков и длинных выходных) приходится до 40% туристского потока.

Связано это, на наш взгляд, с тем, что в условиях грамотного управления санаторно-курортной отраслью множество санаториев и мест детского отдыха продолжают свою работу и обеспечивают традиционно высокий уровень оздоровительного отдыха и санаторно-курортного лечения. Кроме того, широко развита инфраструктура горнолыжных курортов, развивается энотуризм (Шато де Талю, Семигорье и т.п.). Благодаря мягкому климату, красивой природе и современной инфраструктуре туристы могут наслаждаться этими местами круглый год. Именно такой туристский образ территории отражал первый логотип курортов Краснодарского края, разработанный почти 20 лет назад. Логотип изображал плывущий по морю кораблик на фоне яркого солнца – все, что нужно для пляжного отдыха (рис.). Аудитория, которую мог привлечь данный логотип, – исключительно любители пляжного туризма. Такой логотип был актуален в начале 2000 г., но через 20 лет ему потребовалась реновация. За прошедшее время и туристская отрасль края претерпела большие изменения. Эти изменения учитывались при создании нового логотипа. 8 сентября 2021 г. на 27-й Международной туристской выставке «Отдых Leisure» в Москве состоялась презентация фирменных символов края, где был представлен и новый логотип региона. Разработку логотипа курортов Краснодарского края представила компания Derot. ВРИО министра курортов, туризма и олимпийского наследия Краснодарского края Мария Золотухина, представлявшая новый логотип, подчеркнула, что он отражает новое видение курортов: всесезонный отдых, инновационность и высокое качество услуг (рисунок).

Задача нового бренда – транслировать всесезонность и круглогодичность туризма различных направлений. Эту идею подтверждает новый слоган «Жарко круглый год» [8].



*Бренды «Курорты Краснодарского края»: слева старый, справа новый  
Источник: составлено авторами*

Новый идентификационный образ региона сообщает потенциальным туристам о том, что курорты Краснодарского края – это не только летний отдых. Созданный логотип имеет абстрактную форму и отражает цикличность, которая напоминает о том, что гости могут отдыхать в регионе в течение всего года. Но то же самое намекает и цветовая схема логотипа, которая демонстрирует как холодные, так и теплые оттенки. Однако следует отметить, что созданный бренд предназначен не только для туристов-курортников, но и для деловых туристов. При этом следует отметить, что территория Краснодарского края по большей мере ассоциируется у туристов с природными богатствами: теплое море, живописные ландшафты, природные достопримечательности. Это связано с историческими особенностями развития туристско-рекреационной сферы региона. Бесспорно, культурно-исторические ресурсы также пользуются популярностью, но необходимо продолжение работы по популяризации объектов культурно-исторического наследия Краснодарского края.

### Выводы

Территориальный брендинг сегодня стал одним из важнейших элементов в продвижении пространственных образований и выделении их среди конкурентов. Для того, чтобы соответствовать мировым тенденциям развития страны, региона или города, необходимо ставить перед собой задачу актуализирования собственных особенностей с целью создания и позиционирования своей территории как бренда. Брендинг является одним из важнейших элементов в формировании туристской привлекательности региона, но только при комфортных условиях жизни и качественной инфра-

структуре можно добиться высоких показателей в развитии туризма.

В России концепция брендинга в настоящее время находится на стадии развития. Несмотря на привлекательность российских регионов, многие даже популярные направления до сих пор не имеют уникального туристского бренда, а те регионы, которые уже знакомы с брендингом территории, не используют все преимущества данной концепции и не смогли изобразить на брендах все свои достоинства и особенности. Для решения данных проблем предлагается регионам подробнее изучить все преимущества концепции брендинга и для развития туристской деятельности сформировать свой уникальный региональный бренд. Каждому курорту необходим свой бренд, который позволит задолго до поездки показать потенциальным гостям, что может предложить тот или иной курорт. Он служит залогом успешного продвижения региона.

При правильном подходе концепции брендинга у регионов открываются огромные возможности для развития туристской деятельности. В настоящее время развитие всех отраслей экономики и высокий уровень конкуренции мотивируют регионы искать новые способы продвижения и позиционирования. Позиционирование территориальных центров происходит в связи с существующим образом региона и посредством их самоидентификации через брендинг, все это разрабатывают, основываясь на преимуществах и особенностях пространства, и их дальнейшего развития.

Концепция территориального брендинга используется для продвижения стран, регионов и любых других территориальных образований. Создание бренда является сложным комплексным мероприятием, при



котором учитывается множество факторов. При формировании бренда территории необходимо опираться на уникальные ресурсы и преимущества региона.

Теоретический аспект бренда территорий должен быть проработан именно для российских регионов, поскольку при правильно выбранной стратегии бренд станет действенным и вспомогательным элементом в системе управления регионом. Для создания территориального бренда необходимо учитывать все основные компоненты: бренд-платформу, визуальную айдентикку, коммуникационную стратегию и интеграцию с местной культурой. Помимо этого, для региона важны сохранение культурных и природных ресурсов и участие местного населения в формировании имиджа. Брендинг территорий должен адаптироваться к изменениям и трендам, интегрируя новые технологии и учитывая глобальные вызовы. Создать уникальный образ может помочь сотрудничество между городами и регионами. В целом, бренд в туризме является важным инструментом развития пространственных образований и городов. Осознание ключевых аспектов направлений развития территориального бренда позволяет реализовывать грамотную и успешную стратегию, которая будет иметь долгосрочное положительное воздействие на регион и его население.

Туристский бренд в Краснодарском крае имеет большое значение, и должен создаваться с учетом предпочтения всех граждан. За основу необходимо брать основные туристские направления или достопримечательности края. Поскольку природных и культурно-исторических ресурсов в регионе огромное множество, разумнее соз-

давать бренд, основываясь на основных видах туризма. Идея нового бренда с круглогодичным отдыхом может быть успешнее, если добавить уникальные и узнаваемые преимущества региона. Таким образом, можно сделать вывод, что новый бренд для края – это не просто логотип или фирменный стиль, а в первую очередь – это идея, способная объединить местных жителей и подчеркнуть уникальность территории, что позволит привлечь внимание инвесторов и туристов, улучшить репутацию и повысить имидж муниципалитетов края.

### Список литературы

1. Буряшева Л.А., Романько И.Е., Марченко С.В. Формирование брендинга туристских территорий России // Социально-гуманитарные знания. 2023. № 1. С. 24-26.
2. Агафонов Н. С. Брендинг территорий в России: проблемы и возможности // Молодой ученый. 2019. № 14(252). С. 79–81.
3. Черепяхин С.В. Отечественный опыт применения брендинга территорий как инструмента продвижения туристских услуг // Современный туризм в условиях неопределенности: теория и практика: материалы Всероссийской научно-практической конференции (Саратов, 24 марта 2023 года). Саратов: Саратовский источник, 2023. С. 84-89.
4. Левочкина Н.А. Региональные бренды России как инструмент глокализации // Ученые записки (Алтайская государственная академия культуры и искусств). 2017. № 4(14). С. 30-36.
5. Митина Э.А. Теоретические аспекты формирования и развития туристического бренда страны // Экономика и бизнес: теория и практика. 2016. № 1. С. 92-97.
6. Визгалов Д.В. В42 Брендинг города. М.: Фонд «Институт экономики города», 2011. 160 с.
7. Григорьева Н.С. Развитие регионального туризма в современных условиях // Ученые записки института управления, бизнеса и права. Серия: экономика. 2017. № 5. С. 373-378.
8. Depot представило новый логотип курортов Краснодарского края // Sostav независимый проект брендингового агентства Depot WPF. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sostav.ru/publication/depot-50299.html> (дата обращения: 18.02.2024).

УДК 911.6

DOI 10.17513/use.38248

## РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ СТЕПНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА И СОПРЕДЕЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО УСЛОВИЯМ ТЕПЛО- И ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ

<sup>1</sup>Мезенцева О.В., <sup>2</sup>Кусаинова А.А., <sup>3</sup>Тусупбеков Ж.А.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет»,  
Омск, e-mail: mezolga@yandex.ru;

<sup>2</sup>НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,  
Караганда, e-mail: aimarh@mail.ru;

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»,  
Омск, e-mail: gggkiobr@mail.ru

**Аннотация.** Данное исследование посвящено разделению территории на зоны в соответствии с гидролого-климатическими характеристиками, которое предусматривает создание группировок областей, характеризующихся схожими условиями по тепловому и влажностному режимам. Эти зоны играют важную роль в определении географического распределения и направления развития сельского хозяйства. Для оценки природных гидроклиматических ресурсов было проведено разделение территории на различные зоны согласно основным гидролого-климатическим показателям в течение вегетационного периода. Целью данного исследования является районирование территории степной зоны Северного Казахстана и сопредельной территории России по условиям тепло- и влагообеспеченности. Исследование динамики коэффициента увлажнения в современный период (1991–2020 гг.) по сравнению с базовым периодом (1961–1990 гг.) выявило уменьшение этого показателя на восьми метеостанциях, а также небольшой рост коэффициента увлажнения на четырех метеостанциях. На основе анализа теплового и водного баланса за вегетационный период и оценки влагообеспеченности территории Северного Казахстана и соседних регионов России по коэффициенту увлажнения были выделены следующие зоны: зона с недостаточной влагообеспеченностью и избыточным тепловым режимом; зона с чрезмерно низкой влажностью и избыточным тепловым режимом. По рассчитанным значениям составлены картосхемы полей изолиний, отражающие условия увлажнения, которые послужили основой районирования территории по степени тепло- и влагообеспеченности.

**Ключевые слова:** районирование, тепло- и влагообеспеченность, коэффициент увлажнения, дефицит увлажнения, юг Западной Сибири, Северный Казахстан

## ZONING OF THE TERRITORY OF THE STEPPE ZONE OF NORTHERN KAZAKHSTAN AND THE ADJACENT TERRITORY OF RUSSIA ACCORDING TO THE CONDITIONS OF HEAT AND MOISTURE SUPPLY

<sup>1</sup>Mezentseva O.V., <sup>2</sup>Kusainova A.A., <sup>3</sup>Tusupbekov Zh.A.

<sup>1</sup>Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: mezolga@yandex.ru;

<sup>2</sup>Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, e-mail: aimarh@mail.ru;

<sup>3</sup>P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk, e-mail: gggkiobr@mail.ru

**Annotation.** This study is devoted to the division of the territory into zones in accordance with the hydrological and climatic characteristics, which provides for the creation of groupings of areas characterized by similar conditions in terms of thermal and humidity conditions. These zones play an important role in determining the geographical distribution and direction of agricultural development. To assess the natural hydro-climatic resources, the territory was divided into different zones according to the main hydrological and climatic indicators during the growing season. The purpose of this study is to zone the territory of the steppe zone of Northern Kazakhstan and the adjacent territory of Russia according to the conditions of heat and moisture supply. A study of the dynamics of the humidification coefficient in the modern period (1991–2020) compared with the base period (1961–1990) revealed a decrease in this indicator at 8 weather stations as well as a slight increase in the humidification coefficient at 4 weather stations. Based on the analysis of the thermal and water balance during the growing season and the assessment of moisture availability in the territory of Northern Kazakhstan and neighboring regions of Russia, the following zones were identified according to the moisture coefficient: an area with insufficient moisture supply and excessive thermal regime; an area with excessively low humidity and excessive thermal regime. Based on the calculated values, contour maps were compiled reflecting the humidification conditions, which served as the basis for dividing the territory according to the degree of availability of heat and moisture.

**Keywords:** zoning, heat and moisture availability, moisture coefficient, moisture deficiency, south of Western Siberia, Northern Kazakhstan

На формирование и функционирование природных геосистем определяющее воздействие оказывает совокупность эколого-географических факторов зонального и локального масштаба и их взаимодействие на разном уровне их развития. В то же время

решающую роль в развитии природно-территориальных комплексов играют ресурсы тепла и влаги.

Территория Северного Казахстана является одним из основных центров агропромышленного комплекса Республики Казахстан. Благодаря наиболее оптимальным по тепло- и влагообеспеченности (по сравнению с остальной частью республики) условиям территория является важным центром не только растениеводства, но и производства мясомолочной продукции.

В Северном Казахстане основные агроклиматические условия определяются показателями доступности тепла и влаги в период вегетации [1, 2]. В связи с этим разделение территории по данным параметрам помогает в решении разнообразных задач сельского хозяйства как в практическом, так и в научном плане. Например, это облегчает дифференцирование по агроклиматическим условиям для различных сельскохозяйственных культур.

Такое районирование территории по агроклиматическим факторам включает разделение на различные зоны или районы, которые характеризуются схожими условиями внутри себя по режиму тепла и влажности. Эти зоны играют важную роль в географическом распределении и специализации сельского хозяйства. Для комплексной оценки агроклиматических условий выполняется районирование территории по основным показателям вегетационного периода. Для Северного Казахстана особую значимость имеют показатели доступности тепла и влаги в период вегетации.

Используя районирование территории по этим параметрам, решается ряд задач в сельском хозяйстве как на практическом, так и на теоретическом уровне. Это облегчает планирование выращивания сельскохозяйственных культур в соответствии с агроклиматическими условиями, упрощает определение оптимальных сроков для агротехнических работ (посевы, сбор урожая, обработка почвы и т.д.), а также распределение рисков метеорологических явлений и т.д. Этот подход позволяет систематизировать данные и улучшить практику сельского хозяйства на данной территории.

Целью данного исследования является районирование территории степной зоны Северного Казахстана и сопредельной территории России по условиям тепло- и влагообеспеченности.

### Материалы и методы исследования

Для проведения исследования выбраны территория Северного Казахстана и сопредельная территория России, где расположены 12 метеостанций: Макушино, Щучинск, Исилькуль, Ишим, Благовещенка, Полтавка, Ерейментау, Иртышск, Павлодар, Есиль, Рузаевка и Атбасар. Исходными данными послужили результаты метеонаблюдений за 1961–2020 гг. [3]. 60-летний интервал исследования поделен на два периода: базовый (1961–1990 гг.) и современный (1991–2020 гг.). В работе использовались картографический и статистический методы и метод гидролого-климатических водно-балансовых расчетов. Метод гидролого-климатических расчетов (ГКР) разработал в 1957 г. В.С. Мезенцев и применил его для районирования Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности. В настоящее время на основе метода ГКР исследованы малоизученные в гидролого-климатическом отношении территории не только современной России, но и других приграничных территорий.

### Результаты исследования и их обсуждение

В агроклиматических справочниках 1958 и 2006 гг. для проведения районирования территории использовались различные методы, включая гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) за период с температурой выше 10°C и сумма активных температур воздуха выше 10°C. Границы зон уточнялись с учетом данных почвенных и геоботанических карт. В научно-прикладном справочнике по агроклиматическим ресурсам северных областей Казахстана, выпущенной в Институте географии Министерства образования и науки Республики Казахстан под ред. С.С. Байшоланова [4], был использован коэффициент увлажнения за вегетативный период (май – август) и сумма активных температур воздуха выше 10 °С для агроклиматического зонирования территории.

Работы И.В. Карнацевича и О.В. Мезенцевой [5] рассматривали зоны хозяйственного оптимума увлажнения и динамику полей характеристик увлажнения с учетом естественных колебаний в пределах солнечного цикла при повторяемости сухих и влажных лет не реже чем 1 раз в 5 лет. Из исследований выяснилось, что опти-

мальные условия для большинства сельскохозяйственных культур характеризуются средним годовым коэффициентом увлажнения от 0,65 до 1,00 и дефицитом увлажнения от –300 до 0 мм (май – август), а относительная влажность почвы должна быть в диапазоне от 0,6 до 1,00.

Районы юга Западной Сибири и Северного Казахстана, находящиеся в лесостепной природной зоне, соответствуют условиям нижнего оптимума увлажнения почвы – недостаточного увлажнения и избыточной теплообеспеченности в сухой год и оптимального увлажнения в средний год и во влажный год с повторяемостью 1 раз в 5 лет. В пределах степной зоны величин увлажнения соответствуют условиям весьма недостаточного увлажнения и избыточной теплообеспеченности в средний год и сухой год, а также недостаточного увлажнения во влажный год с повторяемостью 1 раз в 5 лет. В некоторых регионах Кулундинской равнины и на территории Казахского мелкосопочника [5, 6] выделена зона весьма недостаточного увлажнения.

Для расчета дефицита увлажнения и коэффициента увлажнения ранее использовался метод, предложенный Э.М. Ольдекопом, который заменил величину испаряемости (верхний предел испарения) или испарения с водной поверхности на величину максимально возможного испарения  $Z_m$ . Таким образом он предложил объединить понятия максимального испарения и тепловые ресурсы местного климата. Равенство нулю дефицита увлажнения и значение коэффициента увлажнения, равное единице, определяют оптимальные условия тепловлажностного режима. Применение этого подхода позволяет решить задачи по выявлению избыточного и недостаточного увлажнения и определить эффективные мероприятия при решении водных проблем [7]. Развитие этого подхода произошло при переходе к энергетическому выражению теплоэнергетических ресурсов климата и использованию для их количественной оценки водного эквивалента в миллиметрах слоя воды. Этот подход был осуществлен в работах В.С. Мезенцева и И.В. Карнацевича. Он позволил значительно уточнить структуры уравнений теплового и водного баланса для континентов и отдельных территорий, изучить динамику и пространственное распределение характеристик.

Математическая модель метода гидролого-климатических расчетов В.С. Мезенцева используется для анализа перераспре-

деления влаги внутри сезонов и расчетов водного баланса на различных временных интервалах, включая посуточные, месячные и декадные значения. Это позволяет выполнять расчеты элементов водного баланса ежемесячно и декадно (и даже посуточно при наличии исходной информации), в том числе и за реальные годы [8].

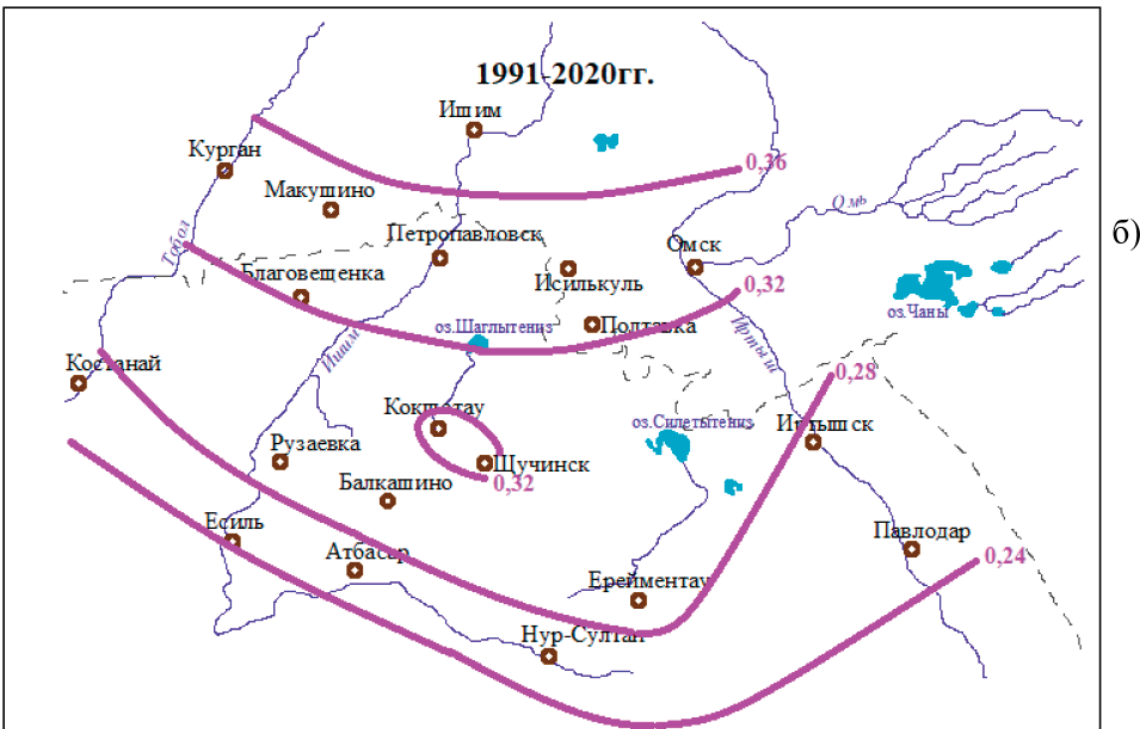
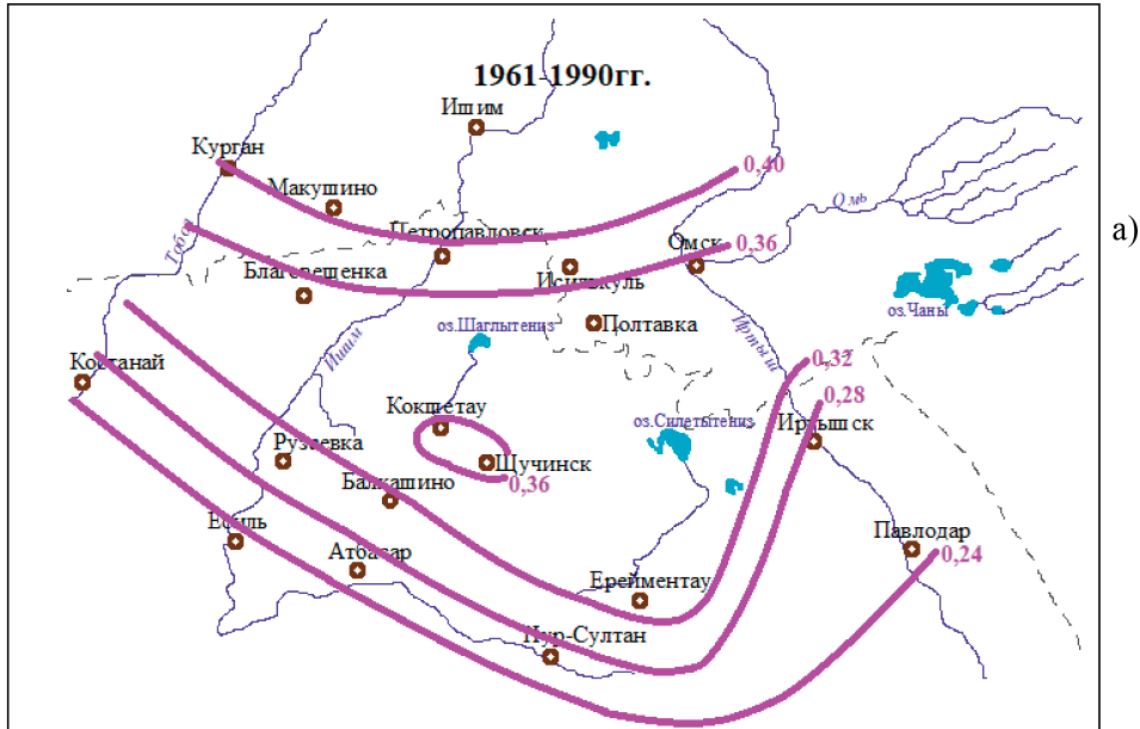
Исходя из полученных авторами данных по расчетам характеристик теплового и водного баланса за вегетационный период по различным метеостанциям и анализу тепло- и влагообеспеченности территорий Северного Казахстана и сопредельной территории Западной Сибири, были выявлены следующие области с различными значениями коэффициента увлажнения:

$\beta_{кх} = 0,30-0,45$  – районы недостаточного увлажнения и избыточной теплообеспеченности;

$\beta_{кх} < 0,30$  – районы весьма недостаточного увлажнения и избыточной теплообеспеченности.

Выделяется область вблизи метеостанции Щучинск, где коэффициент увлажнения превышает 0,30. Это обусловлено уникальными географическими особенностями, такими как лесостепные, лесные и озерные ландшафты, а также характеристикой рельефа. Метеостанция Щучинск расположена на Кокшетауской возвышенности, где рельеф местности имеет высоту от 600 до 950 м. Это создает барьер для воздушных масс, способствуя увеличению конденсации влаги и повышению уровня осадков. В целом закономерность в территориальном распределении  $\beta_{кх}$  носит зональный характер с уменьшением с севера на юг.

Для анализа многолетней изменчивости данной характеристики, с учетом тенденции многолетнего колебания климата, которая, по данным гидрометеорологических наблюдений, на изучаемой территории за последние несколько десятков лет явно проявляется в виде повышения температуры воздуха, были выполнены исследования за два многолетних периода. Анализ изменения полей изолиний коэффициента увлажнения  $\beta_{кх}$  базового (1961–1990 гг.) и современного периодов (1991–2020 гг.) выявило его снижение на восьми метеостанциях: Макушино на –0,08, Щучинск на –0,05, Исилькуль на –0,03, Ишим, Благовещенка, Полтавка, Ерейментау на –0,02, Иртышск на –0,01. Также обнаружено незначительное его увеличение на четырех метеостанциях: Павлодар, Есиль, Рузаевка и Атбасар на +0,01 (рис. 1 а, б).



*Коэффициент увлажнения за вегетационный период (май – август) для Северного Казахстана и сопредельной территории России в базовом (а) и современном (б) периодах*

На картосхемах с ходом времени видно некоторое смещение изолиний к северу при сохранении характера территориального распределения коэффициента увлажнения вегетационного периода. Таким образом,

в последние десятилетия прослеживается процесс увеличения сухости вегетационного периода на исследуемой территории. Граничным значением выделения районов по увлажнению можно считать  $\beta_{кx} = 0,3$ ,

отделяющее влажные степные ландшафты от сухих степных условий.

В лесостепных районах анализированные метеорологические данные, описанные в работе [9], указывают на устойчивый тренд увеличения температуры, сопровождающийся ростом дефицита атмосферного увлажнения вегетационного периода и увеличением частоты и длительности засушливых периодов. Кроме того, наблюдается высокая вариабельность и контрастность осадков в разные годы, особенно заметная в летние и зимние сезоны.

Для степных и лесостепных ландшафтов атмосферное увлажнение, в том числе запасы снега, является основным источником увлажнения, которое впоследствии отражается на качестве и плодородности почвенного покрова сельскохозяйственных угодий.

В конце XX в. и в первых десятилетиях XXI в. в странах Центральной Азии последствия сельскохозяйственных засух отражаются негативным образом на экономике, экологии и социальных сферах. Они стали характерным явлением в регионе, в совокупности с изменениями климата и возрастающей антропогенной нагрузкой, угрожают водной безопасности территории. Ввиду расположения большей части территории Центральной Азии в аридных и полупустынных зонах, засухи относятся к числу пагубных природных процессов [10]. Природа засухи непосредственно связана с дефицитом влаги на территории. Увеличение температуры воздуха в течение вегетационного периода, сопровождаемое дефицитом увлажнения, создает неблагоприятные агроклиматические условия, такие как недостаток почвенной влаги, снижение речного стока, возникновение засух и пр.

### Выводы

Смещение значений изолиний  $\beta_{кх}$  на картах по периодам говорит о временной динамике естественного увлажнения за вегетационный период в сторону снижения. Исходя из районирования территории по увлажнению вегетационного периода можно сделать вывод о том, что исследуемая территория испытывает значительный дефицит влаги в теплый сезон, что безусловно влияет на условия и методы аграрного природопользования. Исследования условий естественного увлажнения, проведенные для степной зоны, существенно дополняют научные представления о водном балансе Северного Казахстана и соседних территорий Западной Сибири.

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Анализ гидролого-климатических зон на юге Западной Сибири и в Северном Казахстане в пределах лесостепной и степной природных зон показывает соответствие условий увлажнения ниже оптимального уровня.

2. В исследованиях В.С. Мезенцева были выделены гидролого-климатические зоны на территории юга Западной Сибири в зависимости от сочетания уровня увлажнения и теплообеспеченности: зона недостаточного увлажнения и избыточной теплообеспеченности, а также зона весьма недостаточного увлажнения и избыточной теплообеспеченности.

3. Результаты расчетов элементов теплового и водного балансов за вегетационный период (май – август) для 12 метеостанций позволили определить состояние территории Северного Казахстана и сопредельной территории России за базовый (1961–1990 гг.) и современный (1991–2020 гг.) периоды.

4. Изменение коэффициента увлажнения в современном периоде по сравнению с базовым выявлено на восьми метеостанциях, где отмечается его снижение, и на четырех метеостанциях, где наблюдается незначительное увеличение.

5. На основе анализа результатов расчетов элементов теплового и водного балансов и оценки тепло- и влагообеспеченности выделены районы с различными значениями коэффициента увлажнения:  $\beta_{кх} = 0,30-0,45$  – районы недостаточного увлажнения и избыточной теплообеспеченности;  $\beta_{кх} < 0,30$  – районы весьма недостаточного увлажнения и избыточной теплообеспеченности.

6. Граничным значением выделения районов по увлажнению вегетационного периода следует считать  $\beta_{кх} = 0,3$ , отделяющее «влажные» степные ландшафты от «сухих» степных условий.

Выделение границы между влажными и сухими степными районами в условиях Северного Казахстана с учетом временной динамики показателей естественного увлажнения вегетационного периода за последние десятилетия дает возможность аграрному комплексу выбирать направление развития агротехнических мероприятий и методы адаптивного земледелия. Результаты исследования могут быть полезны субъектам сельскохозяйственного производства республики Казахстан и сопредельных территорий России.

**Список литературы**

1. Байшоланов С.С. О проблемах агрометеорологического прогнозирования в Казахстане // Вестник КазГУ. Серия географическая. 2001. Вып. 1 (11). С. 32–37.
2. Байшоланов С.С., Павлова В.Н., Жакиева А.Р., Чернов Д.А., Габбасова М.С. Агроклиматические ресурсы Северного Казахстана // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 1 (367). С. 168–184.
3. Метеорологический информационный сайт «Казгидромет» // Республиканское государственное предприятие «Казгидромет». Астана, 2024. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kazhydromet.kz> (дата обращения: 29.02.2024).
4. Байшоланов С.С. Агроклиматические ресурсы Северо-Казахстанской области: научно-прикладной справочник. Астана, 2017. 125 с.
5. Карнацевич И.В., Мезенцева О.В. Структуры водного баланса элементарных водосборов в районе Омска // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (23). С. 173–178.
6. Кусаинова А.А., Мезенцева О.В. Использование компьютерной системы Weather App для воднобалансовых расчетов с целью оценки элементов водного баланса и характеристик естественного увлажнения в северной части Казахстана // Успехи современного естествознания. 2018. № 11–2. С. 355–360.
7. Ряполова Н.Л., Тусупбеков Ж.А. Гидролого-климатические ресурсы увлажнения регионов для защиты от затопления и подтопления // Геология, география и глобальная энергия. 2021. № 1 (80). С. 102–108.
8. Карнацевич И.В., Акимова В.С. Расчеты элементарных дождевых паводков по данным стандартных метеонаблюдений // Омский научный вестник. 2014. № 1 (128). С. 193–200.
9. Кудерина Т.М., Сулова С.Б., Лунин В.Н., Кудиков А.В. Атмосферное увлажнение как фактор нейтрального баланса деградации земель лесостепных ландшафтов // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 2 (83). С. 80–85.
10. Рысалиева Л.С., Сальников В.Г. Исследование атмосферной засухи в Центральной Азии // Географический вестник. 2021. № 2 (57). С. 110–120.

УДК 551.314.2

DOI 10.17513/use.38249

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИПСА НА СОСТАВ ПРИРОДНЫХ ВОД

Наход В.А., Малов А.И., Дружинин С.В.

*ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук,  
Архангельск, e-mail: Nakhod.Vitaliy@knauf.ru*

**Аннотация.** Данная работа посвящена определению возможного воздействия горно-добычных работ на карьере гипсового камня вблизи Светлозерского поселения Архангельской области на водные объекты, расположенные в непосредственной близости от места добычи. Основные данные представлены на основе исследований проб воды, полученных в ходе экспедиции в августе 2023 г. Цель работы – сравнение полученных данных с концентрациями химических элементов, установленными законодательством Российской Федерации как предельно допустимые концентрации для поверхностных водотоков и водоемов. Результатом научно-исследовательской работы стало установление повышенных концентраций макро- и микроэлементов для водных ресурсов рыбохозяйственного значения по Ca, Fe, Mn, Zn, Sr, Pb, Cu и  $\text{SO}_4^{2-}$ . Для поверхностных вод хозяйственно-питьевого назначения зафиксированы превышения предельно допустимых концентраций по Mn, Pb, Fe и  $\text{SO}_4^{2-}$ . Полученные данные сравнены с результатами ранее проведенных работ по изучению снежного покрова на содержание тяжелых металлов. Превышение предельно допустимых концентраций по содержанию Cu, Pb и Zn отмечено как в снежном покрове, так и в поверхностных водах, что можно квалифицировать как результат антропогенного воздействия. Повышенное содержание Sr, Ca и  $\text{SO}_4^{2-}$  связано с природными процессами растворения гипсов, интенсифицированными в процессе техногенного воздействия на массивы скальных пород.

**Ключевые слова:** экология, химические элементы, гипсовый карьер, ареал, водотоки

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (проект № 122011300333-1;  
тема FUUW-2022-0043).*

## STUDY OF THE IMPACT OF GYPSUM DEPOSIT DEVELOPMENT ON THE COMPOSITION OF NATURAL WATERS

Nakhod V.A., Malov A.I., Druzhinin S.V.

*Federal Center for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov, Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, e-mail: Nakhod.Vitaliy@knauf.ru*

**Annotation.** This work is devoted to determining the possible impact of mining operations at the gypsum stone quarry near Svetlozersky settlement of Arkhangelsk region on water bodies located in the immediate vicinity of the mining site. The main data are presented on the basis of studies of water samples obtained during the expedition in August 2023. The purpose of the work is to compare the obtained data with the concentrations of chemical elements established by the legislation of the Russian Federation (MPC) for surface watercourses and water bodies. The result of the research work was the establishment of increased concentrations of macro- and microelements for water resources of fishery importance for Ca, Fe, Mn, Zn, Sr, Pb Cu, and  $\text{SO}_4^{2-}$ . For surface waters of economic and drinking purpose exceedances of MPC were recorded for Mn, Pb, Fe and  $\text{SO}_4^{2-}$ . The obtained data were compared with the results of earlier studies of snow cover for heavy metal content. Exceedances of MPC for copper, lead and zinc were observed both in snow cover and in surface water, therefore they can be qualified as a result of anthropogenic impact. Elevated contents of Sr, Ca and  $\text{SO}_4^{2-}$  are associated with natural processes of gypsum dissolution intensified in the process of anthropogenic impact on rock massifs.

**Keywords:** ecology, chemical elements, gypsum quarry, habitat, watercourses

*This work was supported by the Russian Ministry of Education and Science (project No. 122011300333-1;  
topic FUUW-2022-0043).*

Деятельность любого горнодобывающего предприятия связана с негативным техногенным воздействием на биогеоценоз участка разработки месторождения. Поэтому для контроля воздействия на природные оболочки функционирует горно-экологический мониторинг, в рамках которого контролируется состояние водных ресурсов, атмосферного воздуха, фауны и флоры. Горно-экологический мониторинг предприятия

по добыче гипсового камня в Архангельской области ограничен выполнением контроля содержания нефтепродуктов и растворенных и взвешенных веществ в сточных водах. Результаты замеров показывают отсутствие превышений предельно допустимых концентраций по данным показателям на протяжении всех лет деятельности предприятия, при этом детальное исследование химического состава природных вод вокруг



карьера не входит в рамки контроля, установленные государственными органами.

Данная работа посвящена более глубокому исследованию техногенного воздействия деятельности горнодобывающей компании на объекты окружающей среды, качественному и количественному переносу, распределению, а также аккумуляции химических элементов в природных и искусственных водотоках на территории вблизи участка недр Чугская площадь. Выбросы вредных веществ от деятельности горнотранспортного и горнодобывающего оборудования усиливают негативную нагрузку на атмосферу, накопление тяжелых металлов в природных водоемах вследствие миграции элементов и сброса карьерных вод, а также накопление металлов в донных отложениях. Все это обуславливает актуальность исследовательской работы.

#### Материалы и методы исследования

В рамках экспедиции в августе 2023 г. были отобраны 14 проб воды. На рис. 1, 2 показан участок изучения и места отбора проб, данный объект исследования имеет развитую сеть поверхностных водотоков.

Пробы были отобраны на площади 1322 га на крупных водотоках района, таких как оз. Сенное и Карасиное, р. Чуга и Позера, их притоки; также опробовались карьерные воды. Непосредственно в точках отбора проб воды измерялись ее температура, содержание кислорода, общая минерализация, электропроводность, водородный показатель и окислительно-восстановительный

потенциал. Для дальнейшего исследования были отобраны следующие пробы:

- 1,5 л – на общий химический анализ в 1,5 л полиэтиленовые емкости без фильтрации и подкисления;
- 10 мл – на катионы и микроэлементы с фильтрацией и подкислением;
- 50 мл – на анионы с фильтрацией без подкисления.

Анализы проб выполнялись в лаборатории ЦЛАТИ по Архангельской области в соответствии с нормативными документами.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Изучение водных объектов осуществлялось на содержание макрокомпонентов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) и микроэлементов ( $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{As}$ ). Содержание химических элементов в водотоках района сопоставлялось с предельно допустимой концентрацией веществ для объектов рыбохозяйственного значения [1] и для поверхностных вод [2] (табл. 1).

В результате сравнения показателей отмечаются повышенные концентрации для следующих химических элементов:  $\text{Mn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  для рыбохозяйственных водных ресурсов, а также наличие компонентов в размере 50% и выше от предельной концентрации по  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Концентрация с превышением допустимых значений отмечена для  $\text{Mn}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  для поверхностных вод, 50% и выше от предельной концентрации выявлено по  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}$ .

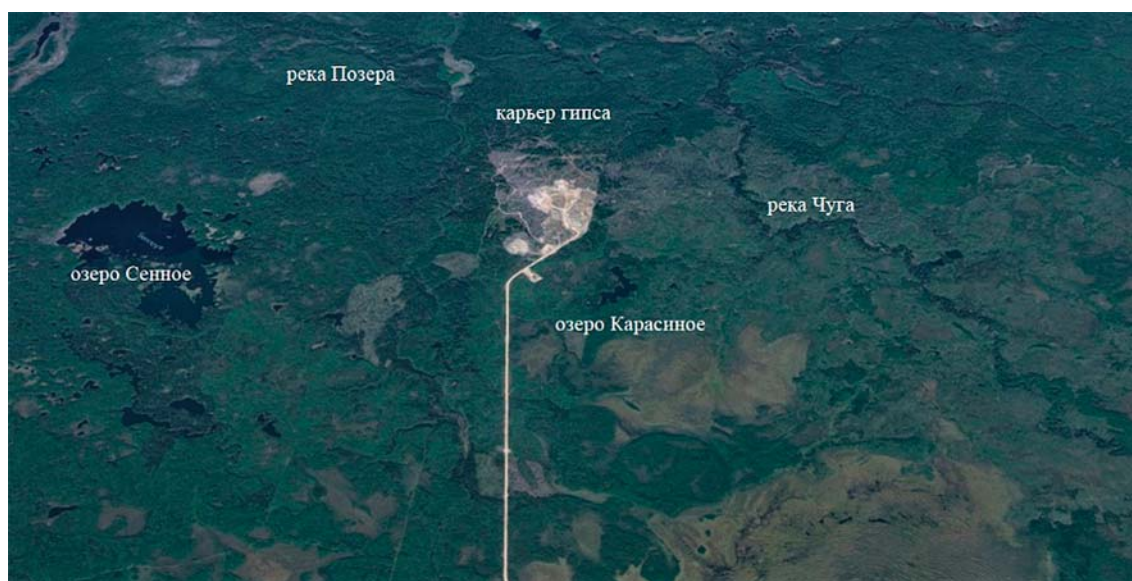


Рис. 1. Участок экспедиции 2023 г.

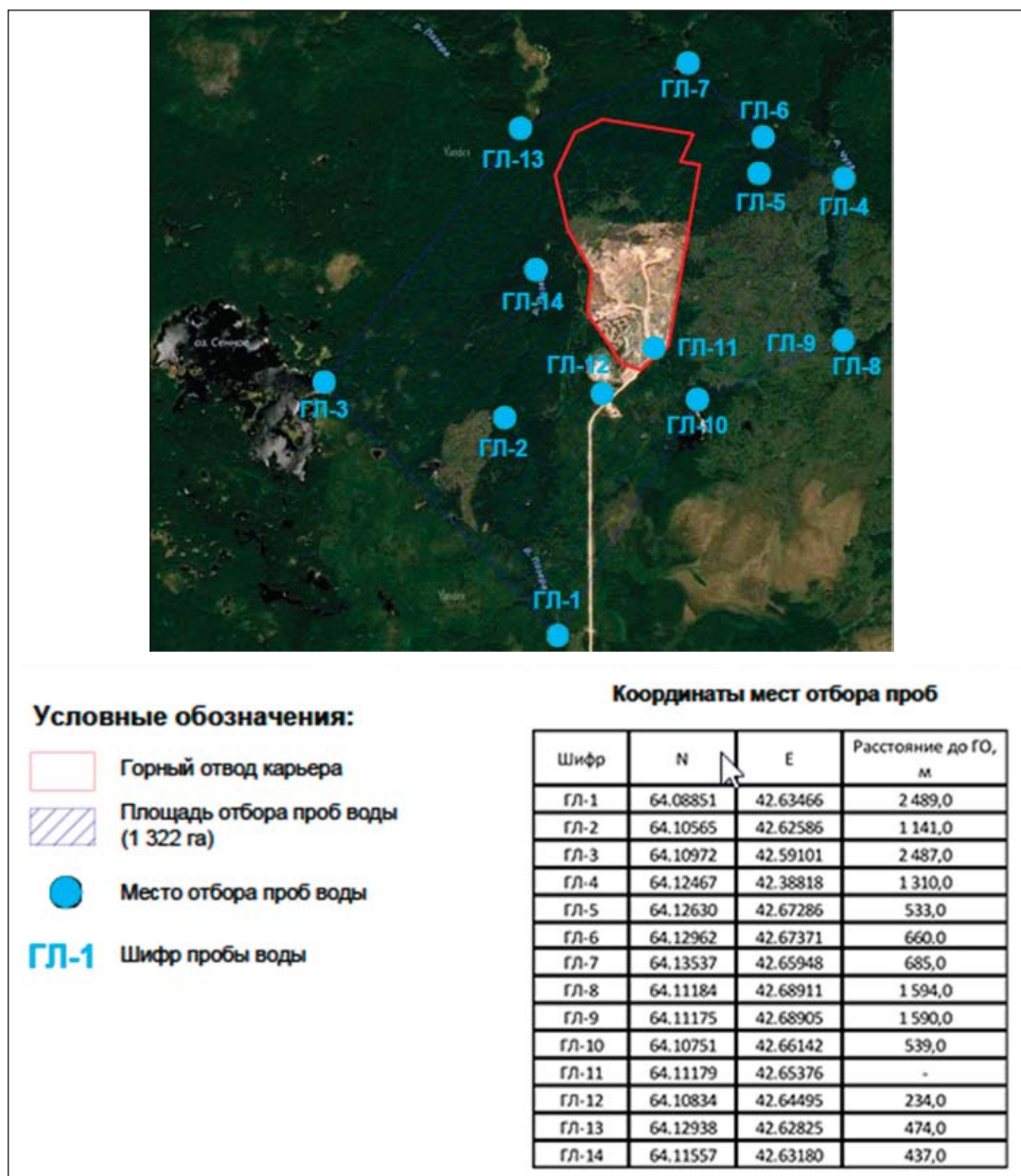


Рис. 2. Схема расположения точек для отбора проб воды (ГЛ) на карьере гипса

Таблица 1

Предельно допустимые концентрации микро- (мкг/л) и макрокомпонентов (мг/л) химического состава в поверхностных водотоках, целью которых является рыбохозяйственная деятельность и водоснабжение населенных пунктов

Проба	Cr	Mn	Sr	Fe	Pb	Ni	Cu	Zn	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
	мкг/л									мг/л				
ПДК в воде для рыбохозяйственных объектов	20	10	400	100	6	10	1	10	50	180	120	40	100	300
ПДК поверхностных вод	50	100	7000	300	10	20	1000	1000	-	-	200	50	500	350
Класс опасности	2	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3

Таблица 2

Валовое содержание макро- и микроэлементов в пробах вод

№ п/п	Шифр пробы	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Сульфат-ион	Хлорид-ион	МКГ/Л								Σ микро-элемент.	Σ
								Mn	Cu	Pb	Zn	Cr	Sr	Fe			
1	ГЛ-1	2,40	0,76	127,00	12,00	253,00	н.о.	200	н.о.	н.о.	9	12	1500	740	2 461,00	397 621,00	
2	ГЛ-2	5,20	2,01	420,00	18,50	780,00	н.о.	66	1,2	н.о.	7,5	н.о.	4200	230	4 504,70	1 230 214,70	
3	ГЛ-3	0,75	0,00	22,40	1,80	29,60	н.о.	4,4	2,3	н.о.	3	н.о.	н.о.	43	61,70	54 611,70	
4	ГЛ-4	3,80	0,00	680,00	17,00	1350,00	н.о.	16	1,6	н.о.	4	8	410	44	483,60	2 051 283,60	
5	ГЛ-5	1,20	0,51	215,00	7,30	470,00	н.о.	2,3	1,1	н.о.	11	8	1430	16	1 468,40	695 478,40	
6	ГЛ-6	0,79	0,58	530,00	12,00	1100,00	н.о.	14	2,9	н.о.	5,5	9	3000	87	3 123,70	1 646 493,70	
7	ГЛ-7	0,75	0,00	340,00	6,70	800,00	н.о.	2,9	н.о.	н.о.	2	н.о.	2200	51	2 255,90	1 149 705,90	
8	ГЛ-8	3,90	0,00	690,00	18,00	1430,00	н.о.	16	1,2	н.о.	3,5	н.о.	6100	85	6 213,70	2 148 113,70	
9	ГЛ-9	4,80	0,00	690,00	11,00	1390,00	н.о.	41	2,6	н.о.	5	н.о.	3300	144	3 492,60	2 099 292,60	
10	ГЛ-10	1,12	0,59	25,10	5,90	5,40	1,18	13	1,6	28	18	12	0	170	242,60	39 532,60	
11	ГЛ-11	88,00	0,00	730,00	39,00	1540,00	67,00	5	2,6	н.о.	3	н.о.	6400	26	6 436,60	2 470 436,60	
12	ГЛ-12	28,30	1,34	670,00	25,00	1430,00	20,80	27	1	н.о.	2	н.о.	5000	63	5 093,00	2 180 533,00	
13	ГЛ-13	9,10	1,80	530,00	21,00	1080,00	н.о.	26	1,7	7	2	н.о.	4000	140	4 176,70	1 646 076,70	
14	ГЛ-14	4,80	2,06	410,00	18,00	890,00	н.о.	87	1,9	н.о.	3	5,6	3400	270	3 767,50	1 328 627,50	
15	Сумма	154,91	9,65	6079,50	213,20	12548,00	88,98	520,60	21,70	57,30	78,50	54,60	40 940,00	2 109,00	43 781,70	19 138 021,70	
16	Среднее	11,07	0,69	434,25	15,23	896,29	29,66	37,19	1,55	4,09	5,61	3,90	2 924,29	150,64	3 127,26	1 367 001,55	
17	Min	0,75	0,00	22,40	1,80	5,40	1,18	2,30	-	-	2,00	-	-	16,00	61,70	39 532,60	
18	Max	88,00	2,06	730,00	39,00	1540,00	67,00	200,00	2,90	28,00	18,00	12,00	6 400,00	740,00	6 436,60	2 470 436,60	

Примечание: н.о. – не определено.

Таблица 3

## Физико-химические показатели поверхностных вод

Шифр пробы	pH	Eh, мВ	t, °	Минерализация, мг/л	Электропроводимость, мкСМ/см
ГЛ-1	6,59	-40,00	16,90	300,40	620,60
ГЛ-2	7,14	-3,00	12,70	800,40	1605,00
ГЛ-3	7,15	49,00	23,20	65,07	136,50
ГЛ-4	7,37	-3,00	12,30	1143,00	2265,00
ГЛ-5	7,01	-52,00	18,50	441,80	903,20
ГЛ-6	7,10	-29,00	20,20	887,50	1771,00
ГЛ-7	7,56	-41,00	23,10	634,80	1283,00
ГЛ-8	7,18	-33,00	12,60	1154,00	2284,00
ГЛ-9	7,42	-24,00	5,80	1123,00	2228,00
ГЛ-10	7,40	1,00	22,10	22,82	48,51
ГЛ-11	7,38	-2,00	20,40	1422,00	2797,00
ГЛ-12	7,12	5,00	21,50	1136,00	2253,00
ГЛ-13	7,49	-3,00	12,30	910,40	1817,00
ГЛ-14	7,45	-2,00	14,80	749,90	1508,00
Среднее	7,24	-12,64	16,89	770,79	1537,13
Min	6,59	-52,00	5,80	22,82	48,51
Max	7,56	49,00	23,20	1422,00	2797,00

Значения суммарной концентрации микроэлементов составляли от 61,70 мкг/л в точке ГЛ-3 до 6436,6 мкг/л в точке ГЛ-11. Относительно высокие значения также отмечены в точках ГЛ-8 6213,7 мкг/л и ГЛ-12 5093,00 мкг/л (табл. 2). Кроме этого проведены исследования физико-химических показателей водотоков (табл. 3).

Полученные в рамках исследовательской работы данные показали присутствие нормируемых химических элементов и соединений как в поверхностных водах в непосредственной близости к объекту разработки, так и в водных объектах, расположенных на большом удалении от источника антропогенного воздействия. Следовательно, природа возникновения загрязнения имеет как природный, так и естественный фактор. К тому же хочется отметить, что в процессе добычи горных пород образуется мелкодисперсная пыль, которая абсорбирует тяжелые металлы и переносит их.

Следующий этап исследования – обработка данных с помощью программы Surfer 8.0, необходимой для создания моделей распределения химических элементов в пространстве изучаемой территории (рис. 3). Полученные данные по рассеива-

нию  $\text{Na}^+$ , Cr, Mn, Pb, Fe,  $\text{Mg}^{2+}$ , Cu, Sr,  $\text{Ca}^{2+}$ , Zn, и сульфат-иона демонстрируют отсутствие строгой зависимости по распределению элементов в пространстве.

Мелким рекам Северо-Западного региона, в том числе Архангельской области, свойственна концентрации марганца в пределах 10–15 мкг/л, главной причиной этого является питание данных рек болотными системами региона [3, с. 1118–1130]. Марганец, как и железо, относится к ряду элементов, окисленные формы которых менее растворимы, чем восстановленные. При этом процесс окисления марганца происходит при наличии большего значения окислительно-восстановительного потенциала. Одним из главных условий получения окисленных форм марганца в околонейтральных водах является значение показателя Eh > +600 мВ [4, с. 672]. Окислительно-восстановительный потенциал в отобранных пробах вод изменялся от -52 до 49 мВ (табл. 3). Уровень pH колебался в незначительном интервале и составлял от 6,59 до 7,65 (табл. 3). Минерализация поверхностных вод имеет достаточно большой разброс и составляет от 22,82 до 1422 мкг/л (табл. 3), максимальная минерализация отмечается в пробах карьерных вод.

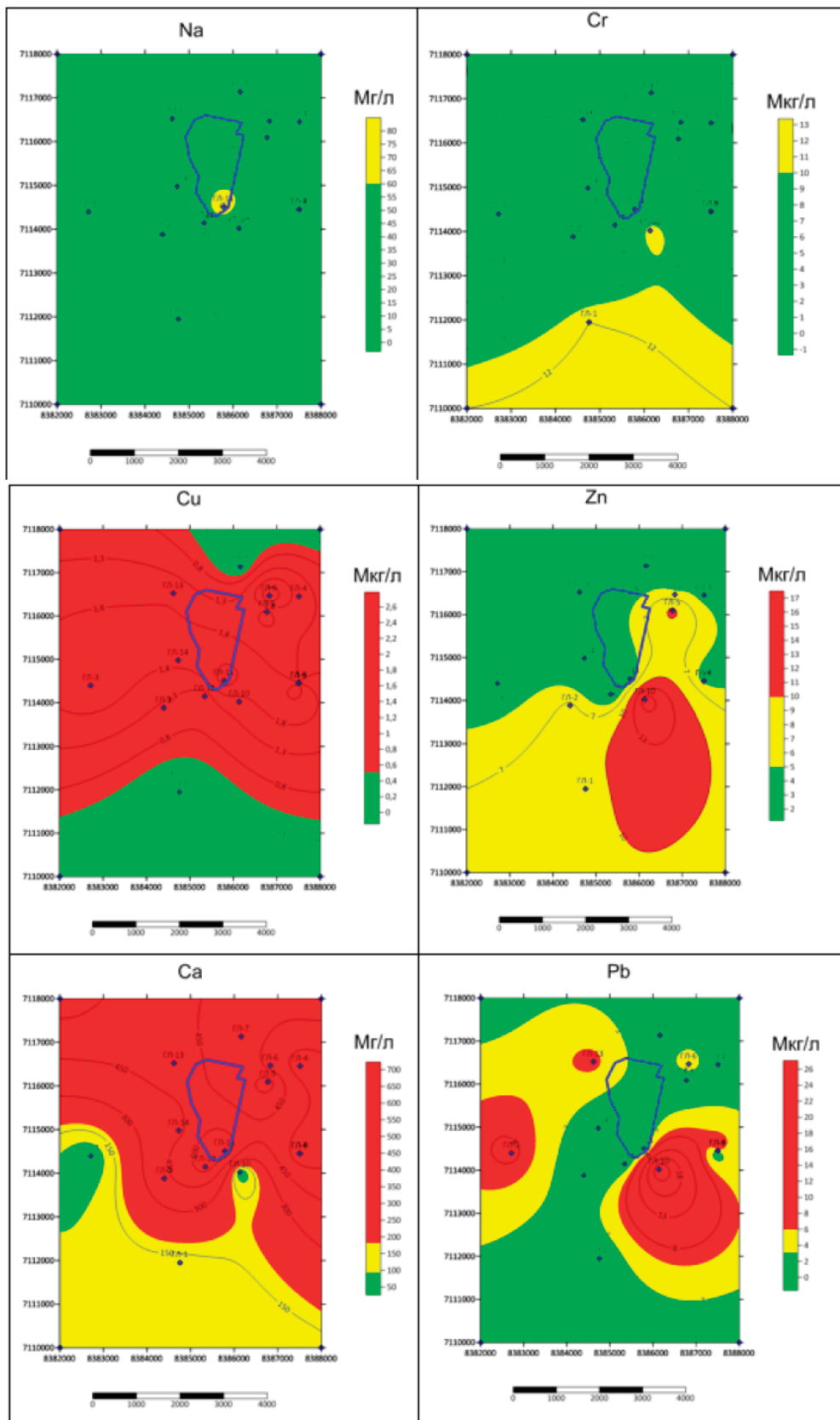


Рис. 3. Распределение макро- и микроэлементов в поверхностных водотоках. Красный цвет символизирует превышение ПДК, желтый – 0,5–1 ПДК, зеленый – менее 0,5 ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения

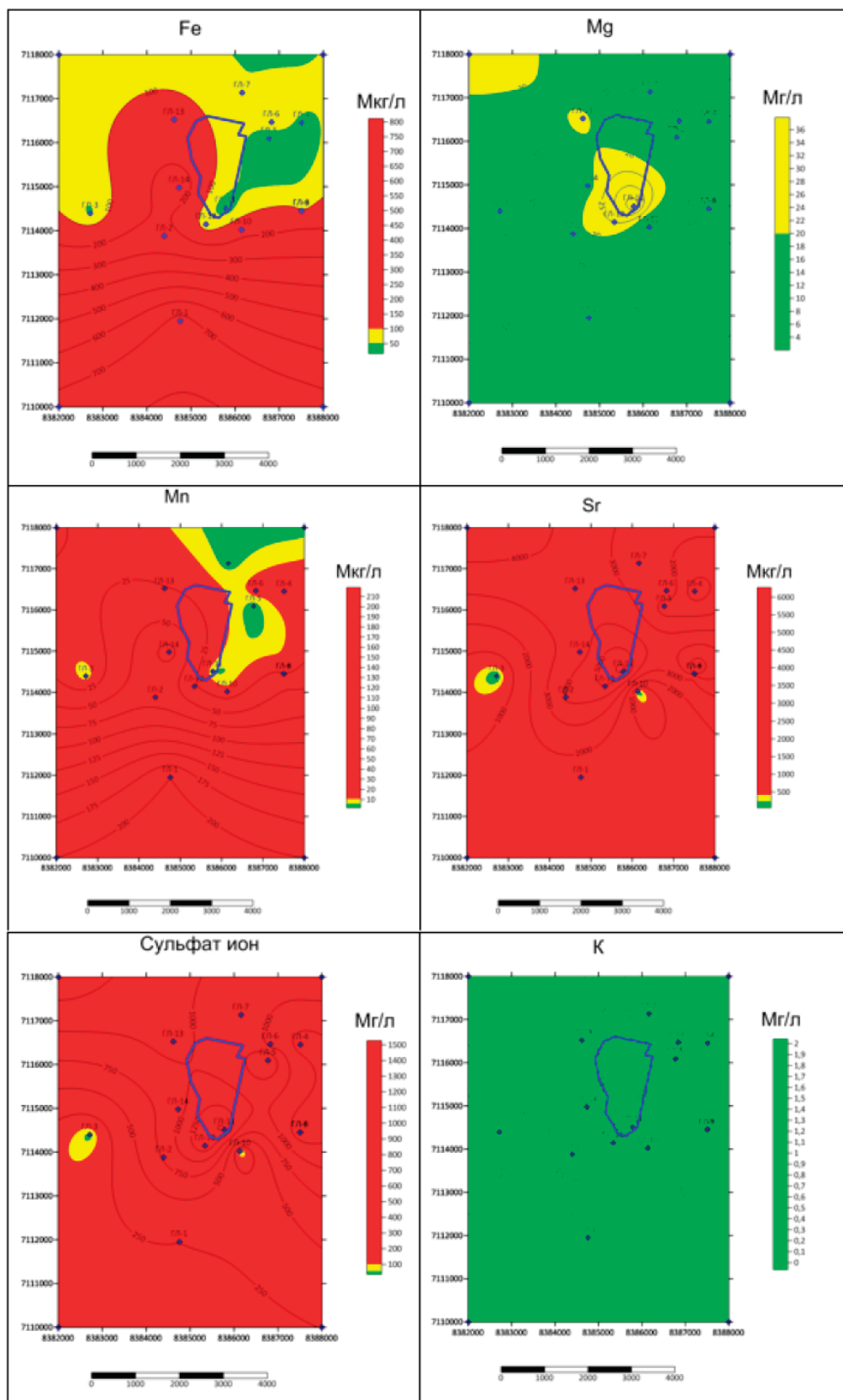


Рис. 3 (продолжение). Распределение макро- и микроэлементов в поверхностных водотоках. Красный цвет символизирует превышение ПДК, желтый – 0,5–1 ПДК, зеленый – менее 0,5 ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения

Соседствующее расположение региона исследования с Кольским полуостровом является причиной повышенного содержания меди в пробах вод, так как Мурманская область располагает крупнейшими горнодобывающими и металлургическими предприятиями, такими как Кольская ГМК [5, с. 318]. Деятельность медно-никелевых комбинатов является причиной поступления металлов в атмосферу.

Превышение ПДК по содержанию меди, свинца и цинка отмечено как в снежном покрове [6, с. 71–80], так и в поверхностных водах, что можно квалифицировать как результат антропогенного воздействия, но превышение ПДК по данным металлам носит точечный характер. Повышенные содержания Sr, Ca<sup>2+</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> связаны с природными процессами растворения гипсов, интенсифицированными в процессе техногенного воздействия на массивы скальных пород.

### Заключение

Исследовательская работа подтверждает, что содержание химических элементов в естественных и искусственных водотоках района изучения вблизи функционирующего горного предприятия по добыче строительных горных пород не имеет строгой привязанности к объекту. Результатом работы явилась фиксация превышений ПДК поверхностных вод в объектах рыбохозяйственного значения по Mn, Cu, Zn, Sr, Pb, Ca<sup>2+</sup>, Fe и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Превышение ПДК для поверхностных вод, используемых для хозяйственно-питьевых целей, зафиксировано по Mn, Pb, Fe и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Проделанная работа позволяет составить следующую последовательность распределения микроэлементов по концентрациям: Sr (2924,29 мкг/л) > Fe (150,64 мкг/л) > Mn (37,19 мкг/л) > Zn (5,61 мкг/л) >

Pb (4,09 мкг/л) > Cr (3,90 мкг/л) > Cu (1,55 мкг/л), Ni и As не обнаружены. При сопоставлении полученных данных с ранее проводимым исследованием снежного покрова в пределах карьера строительных горных пород можно отметить закономерность в превышении ПДК по меди, что является влиянием деятельности металлургических предприятий Мурманской области (атмосферный перенос). Превышение ПДК по свинцу и цинку носит точечный характер и отмечается в 28,6% проб по свинцу и 14,3% проб по цинку.

### Список литературы

1. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (Список изменяющих документов (в ред. Приказов Минсельхоза России от 12.10.2018 № 454, от 10.03.2020 № 118, от 22.08.2023 № 687)» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71586774/> (дата обращения: 22.02.2024).
2. Постановление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 28 января 2021 г. № 2 об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (Список изменяющих документов (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 30.12.2022 № 24)) [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71586774/> (дата обращения: 22.02.2024).
3. Malov A.I., Sidkina E.S., Ryzhenko B.N. Model of the Lomonosov Diamond Deposit as a Water-Rock System: Migration Species, Groundwater Saturation with Rock-Forming and Ore Minerals, and Ecological Assessment of Water Quality // *Geochem. Int.* 2017. Vol. 55–12. P. 1118–1130. DOI: 10.1134/S0016702917090038.
4. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. М.: Наука, 2012. С. 672.
5. Яковенчук В.З., Иванюк Г.Ю., Пахомовский Я.А., Меньшиков Ю.П. Минералы Хибинского массива. М.: Земля, 1999. 318 с.
6. Наход В.А., Малов А.И., Зыкова Е.Н. Загрязнение снежного покрова при разработке месторождения гипса в Архангельской области // *Успехи современного естествознания.* 2023. № 10. С. 71–80.

УДК 551.577.13  
DOI 10.17513/use.38250

## ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА МЕТЕОСТАНЦИЯХ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ ЗА ПЕРИОД С 2015 ПО 2022 ГОДЫ

<sup>1</sup>Шелганова А.А., <sup>2</sup>Майорова Л.П., <sup>2</sup>Гладун И.В.

<sup>1</sup>ФГБУ «Дальневосточное УГМС», Хабаровск, e-mail: 2013003202@pnu.edu.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск,  
e-mail: 000318@pnu.edu.ru, 006209@pnu.edu.ru

**Аннотация.** Целью настоящего исследования являлся сравнительный анализ динамики концентраций главных ионов в снежном покрове на метеостанциях Хабаровского края за период с 2015 по 2022 г. В работе использованы результаты исследования загрязнения снежного покрова ФГБУ «Дальневосточное УГМС» по ст. «Хабаровск» и «Чегдомын», расположенным на территориях с антропогенными источниками загрязнения атмосферы, и ст. «Аян», принятой за условно «фоновую». Показано, что снежный покров на территории края характеризуется в основном слабокислой реакцией среды. На ст. «Хабаровск» и «Чегдомын» основной вклад в величину кислотности снежного покрова вносят сульфаты, имеющие, вероятно, антропогенное происхождение. Малоснежными зимами 2018–2019 и 2019–2020 гг. величина pH повышалась до 6,55–6,93 на фоне минимальных величин среднего влагозапаса. Максимальные значения и межгодовые изменения влагозапаса были отмечены на ст. «Аян». Медианные значения минерализации снеговой воды составили соответственно по ст. «Хабаровск» – 25,64; «Чегдомын» – 12,01; «Аян» – 11,91 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные значения отмечены на ст. «Хабаровск» в 2018–2019 (60,81 мг/дм<sup>3</sup>) и 2019–2020 (78,30 мг/дм<sup>3</sup>) гг. С использованием метода boxplots выявлены выбросы значений содержания ионов в снеговой воде. По всем метеостанциям была отмечена значительная межгодовая изменчивость содержания главных ионов в снеговой воде, что указывало на локальный характер загрязнения атмосферных осадков. Эффект нейтрализации кислотных компонентов в снеговой воде осаждением основных катионов и возможное смещение потенциала подкисления осадков, вероятно, связаны с ростом загрязненности атмосферного воздуха над Хабаровской городской агломерацией в зимний период. Значительный диапазон колебаний содержания главных ионов в снежном покрове ст. «Аян» указывает на ошибочность решения о выборе ее в качестве условно «фоновой». Причинами колебаний могут быть природно-климатические факторы и влияние локальных источников загрязнения атмосферы, обуславливающих высокие концентрации сульфатов и нитратов.

**Ключевые слова:** Хабаровский край, снежный покров, талая вода, ионный состав, динамика

## CHANGES IN THE CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW COVER AT WEATHER STATIONS OF THE KHABAROVSK REGION FOR THE PERIOD FROM 2015 TO 2022

<sup>1</sup>Shelganova A.A., <sup>2</sup>Mayorova L.P., <sup>2</sup>Gladun I.V.

<sup>1</sup>Far Eastern UGMS, Khabarovsk, e-mail: 2013003202@pnu.edu.ru;

<sup>2</sup>Pacific State University, Khabarovsk, e-mail: 000318@pnu.edu.ru, 006209@pnu.edu.ru

**Annotation.** The purpose of this study was a comparative analysis of the dynamics of concentrations of major ions in the snow cover at weather stations in the Khabarovsk Territory for the period from 2015 to 2022. The work uses the results of a study of snow cover pollution by the Far Eastern UGMS at st. Khabarovsk and Chegdomyn, located in territories with anthropogenic sources of air pollution, and st. Ayan, taken as conditionally «background». It is shown, that the snow cover in the region is characterized mainly by a slightly acidic reaction of the environment. At the st. Khabarovsk and Chegdomyn the main contribution to the acidity of the snow cover is made by sulfates, probably of anthropogenic origin. Low snow winters of 2018–2019 and 2019–2020, the pH value increased to 6,55–6,93 against the background of minimum values of the average moisture reserve. Maximum values and interannual changes in moisture reserves were noted at st. «Ayan». The median values of snow water mineralization were according to st. «Khabarovsk» – 25,64; «Chegdomyn» – 12,01; «Ayan» – 11,91 mg/dm<sup>3</sup>. The maximum values are marked at st. «Khabarovsk» in 2018–2019 (60,81 mg/dm<sup>3</sup>) and 2019–2020 (78,30 mg/dm<sup>3</sup>). Using the boxplots method, outliers in ion content values in snow water were identified. At all weather stations, significant interannual variability was noted in the content of major ions in snow water, which indicated the local nature of precipitation pollution. The effect of neutralization of acidic components in snow water by precipitation of basic cations and a possible shift in the acidification potential of precipitation are likely associated with an increase in air pollution over the Khabarovsk urban agglomeration in winter. A significant range of fluctuations in the content of major ions in the snow cover at st. «Ayan» indicates that the decision to choose her as a conditionally «background» was wrong. The reasons for fluctuations may be natural climatic factors and the influence of local sources of air pollution, causing high concentrations of sulfates and nitrates.

**Keywords:** Khabarovsk region, snow cover, melt water, ionic composition, dynamics

Исследование химического состава снежного покрова – обязательная часть государственной системы мониторинга загрязнения окружающей среды, позволяющего коли-

чественно оценить суммарные параметры техногенного загрязнения, включая сухие и влажные выпадения загрязняющих веществ, в дальнейшем приводящие к появ-



лению почвенных геохимических аномалий на городской территории и загрязнению водных объектов в весенний период. Рост городов и индустриализация в России и странах Восточной Азии обуславливают эмиссию в атмосферный воздух сульфатов и нитратов, образующихся при сжигании ископаемого топлива, а развитие интенсивного земледелия и последствия лесных пожаров приводят к выбросам  $\text{NH}_3$  [1, 2]. Обнаруженная способность нитратов транспортироваться зимой на значительное расстояние от локального источника эмиссии может изменять кислотность снежного покрова земельных участков, расположенных в жилой и рекреационной зоне населенных мест [3]. Выпадение кислотных ионов в зимний период на снежный покров влияет на кислотно-щелочной баланс городских почв и поверхностных водных объектов, вызывая подкисление и эвтрофикацию. Отмечается возможность трансграничного переноса  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$  с воздушными потоками с территории северо-восточного Китая на российский Дальний Восток, приводящая к увеличению кислотности осадков в приграничных регионах [4, 5].

Стратегия социально-экономического развития регионов российского Дальнего Востока предполагает проведение «новой индустриализации» экономики, строительство предприятий с передовыми технологиями, создание комфортных для жизни и безопасных городов. Целью настоящего исследования являлся сравнительный анализ динамики концентраций главных ионов в снежном покрове на метеостанциях Хабаровского края за период с 2015 по 2022 г.

#### Материалы и методы исследования

В работе использованы результаты исследования загрязнения снежного покрова ФГБУ «Дальневосточное УГМС» на территории Хабаровского края за период с 2015 по 2022 г. Климат Хабаровского края носит муссонный характер, формируется под влиянием Азиатского континента и Тихого океана. Влияние материка проявляется главным образом в зимний период, когда над Азией устанавливается область высокого давления, а над океаном – область низкого давления. В этот период над территорией края преобладают северо-западные и северные холодные воздушные потоки, направленные от материка к океану. Основное влияние на формирование климата в зимний период оказывает отрог барического азиатского антициклона, обусловленный

вторжением с арктических областей холодных воздушных масс [4–6].

Определение основных характеристик снежного покрова производилось на выбранных и закрепленных на местности снегомерных маршрутах. Снегомерный маршрут на ст. «Хабаровск» – лесной. В зимний период в Хабаровске создаются наиболее неблагоприятные метеоусловия для рассеивания загрязняющих веществ: преобладают юго-западные, западные (66%) и северо-восточные ветры (10%) с наибольшей повторяемостью слабых ветров – 26%. Из-за близкого географического расположения к ст. «Хабаровск» крупной одноименной городской агломерации и провинциального КНР с высокими темпами экономического роста и загрязнения атмосферы [1], не исключено значительное влияние техногенных источников выбросов в атмосферу на химический состав снежного покрова станции. Снегомерный маршрут на ст. «Чегдомын» – лесной. Особенностью этой станции является возможное влияние на качественный состав снежного покрова выбросов от открытых разработок полезных ископаемых в Верхнебуреинском районе края. Снегомерный маршрут на ст. «Аян» – лесной, расстояние от станции до бух. Аянской Охотского моря – 250 м, принят за условно «фоновый».

Снегомерные геохимические съемки, отбор проб, хранение образцов снежного покрова, их химический анализ были выполнены в соответствии с руководством по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89. Содержание исследуемых компонентов (водорастворимых ионов) в талой воде определяли в единицах массовых концентраций –  $\text{мг/дм}^3$  и  $\text{мг-экв/дм}^3$ . Инструментальный анализ анализируемых загрязняющих веществ был выполнен в аккредитованной лаборатории ФГБУ «Дальневосточное УГМС» (аттестат аккредитации РОСС RU.0001.511390). В снеговой воде определялись концентрации главных ионов:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , а также показатели pH и общей минерализации снеговой воды. При исследовании использовали следующие методы: величину pH определяли потенциометрическим методом;  $\text{SO}_4^{2-}$  – нефелометрическим;  $\text{Cl}^-$  – меркуриметрическим;  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NH}_4^+$  – спектрофотометрическим;  $\text{HCO}_3^-$  – методом обратного титрования. Измерения концентрации растворенных форм соединений металлов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) выполняли на атомно-эмиссионном спек-

трометре с индуктивно-связанной плазмой ICAP 6200 («Thermo Scientific», США). Вклад морских аэрозолей в минерализацию осадков рассчитывали по соотношениям, изложенным в [6].

### Результаты исследования и их обсуждение

Величина кислотного показателя снеговой воды ст. «Хабаровск» в исследуемый период изменялась незначительно – рН от 5,56 до 6,39, что соответствовало слабокислым осадкам (рис. 1). Малоснежными зимами 2018–2019 и 2019–2020 гг. величина рН повышалась до 6,55–6,93 на фоне минимальных величин среднего влагозапаса (2018–2019 гг. – 9,6 мм, 2019–2020 гг. – 24,0 мм) (рис. 2). Пробы, отобранные в этот период на ст. «Хабаровск», по степени кислотности можно отнести к нейтральным.

На ст. «Чегдомын» величина кислотности снеговой воды за изученный период мало изменялась (от 5,48 до 6,24): осадки характеризовались как слабокислые.

Сходные результаты были получены по ст. «Аян»: величина кислотности варьировала от 5,63 до 6,06 (слабокислые осадки). Минимальное значение величины рН (5,5) было отмечено на ст. «Чегдомын» (2015–2016 гг.), максимальное (6,9) – на ст. «Хабаровск» (2019–2020 гг.). Для сравнения, на территории Китая величина рН изменялась от 5,45 до 5,94, с наименьшим значением в зимний период – 5,32 [7]. Увеличение рН снеговой воды ст. «Хабаровск» в зимы 2018–2019 и 2019–2020 гг., вероятно, было обусловлено буферизацией кислотности снежного покрова благодаря росту концентрации в атмосферном воздухе взвешенных веществ природного и техногенного происхождения. В исследованиях на северо-востоке Китая было показано [8], что расчетный потенциал подкисления атмосферных осадков не соответствовал значениям, полученным в ходе наблюдений, из-за значительного осаждения основных катионов, преимущественно  $\text{Ca}^{2+}$ , содержащегося в почвенной пыли, и техногенных взвешенных веществах.

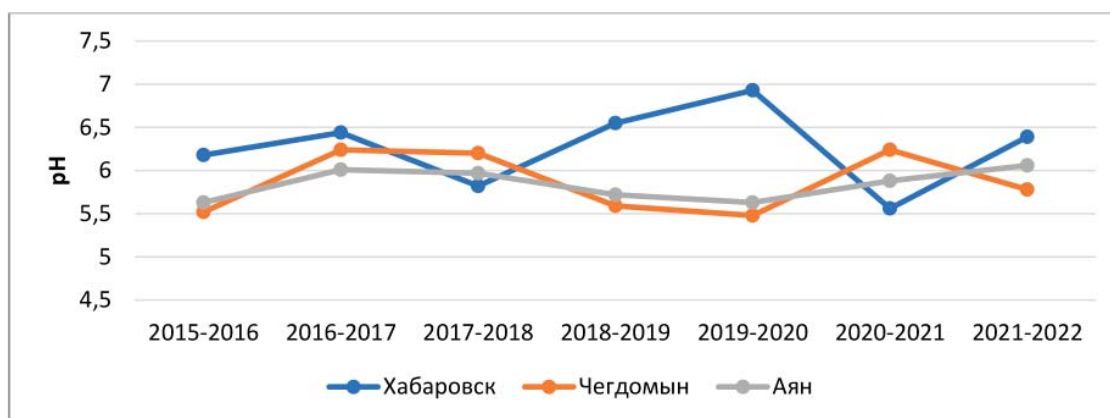


Рис. 1. Изменение рН снеговой воды по метеостанциям Хабаровского края



Рис. 2. Изменения влагозапаса снежного покрова по метеостанциям Хабаровского края



Рис. 3. Изменение минерализации снеговой воды по метеостанциям Хабаровского края

Влагозапас снежного покрова по станциям и годам наблюдений изменялся в широких пределах (рис. 2). На ст. «Хабаровск» изменения наблюдали в пределах от 9,6 мм (2018–2019 гг.) до 104 мм (2021–2022 гг.). Средний влагозапас за исследуемый период составил 55,2 мм, что близко к среднему значению по ст. «Чегдомын» (54,0 мм), расположенной на 329 км севернее ст. «Хабаровск». По ст. «Чегдомын» значения влагозаписа были наиболее стабильны и изменялись в пределах от 34 мм (2020–2021 гг.) до 76 мм (2021–2022 гг.). Максимальные значения и межгодовые изменения влагозаписа были отмечены на ст. «Аян»: минимальное значение (50 мм) наблюдали зимой 2017–2018 гг.; высокие значения отмечали в период с 2015–2016 гг. по 2019–2020 гг. Максимальное значение влагозаписа составило 370 мм, среднее – 218,3 мм, что почти в 4 раза выше средних значений по другим метеостанциям.

Минерализация является важной характеристикой загрязненности снежного покрова, поскольку представляет собой сумму концентраций главных ионов в снеговой воде. Анализ межгодовых изменений содержания водорастворимых ионов показал (рис. 3), что на ст. «Хабаровск» величина минерализации изменялась очень значительно: от минимальных величин в зиму 2017–2018 гг. (14,24 мг/дм³) до максимальных значений в малоснежные зимы 2018–2020 гг. (60,81 и 78,30 мг/дм³).

Наблюдения по ст. «Чегдомын» показали обратную временную зависимость изменения минерализации: в зимы 2018–2020 гг. наблюдали минимальные величины – 8,14 и 6,74 мг/дм³; в остальные изученные периоды величина мало изменялась

от 9,65 (2021–2022 гг.) до 15,18 мг/дм³ (2015–2016 гг.). Медиана значения минерализации по ст. «Хабаровск» составила 25,64 мг/дм³, что было в 2 раза выше величины ст. «Чегдомын» (12,01 мг/дм³). По ст. «Аян» минимальная величина минерализации была отмечена в зиму 2019–2020 гг. (8,63 мг/дм³), максимальная – в 2016–2017 гг. (29,64 мг/дм³). Поскольку по ст. «Аян» из суммарной концентрации сульфат-иона и иона кальция была выделена составляющая, обусловленная морской солью, то скорректированная величина минерализации снеговой воды составила зимой 2019–2020 гг. – 7,96 мг/дм³; в остальные зимние периоды минерализация варьировала от 8,37 (2021–2022 гг.) до 27,07 мг/дм³ (2016–2017 гг.). Медиана минерализации за период наблюдений по ст. «Аян» составила 11,91 мг/дм³. И.И. Кондратьев с соавт. показали [5], что минерализация снежного покрова г. Владивосток зимой 2012–2013 гг. достигала 20,2 мг/дм³, а снега – 24,8 мг/дм³.

Результаты, представленные на рис. 4, показывают пространственное распределение на территории Хабаровского края вероятностей поступлений главных ионов в зимний период за 2015–2022 гг. Судя по межквартильному размаху, более однородными были выборки по ионам  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  на ст. «Хабаровск»;  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$  – на ст. «Чегдомын». На ст. «Аян» более однородны выборки по ионам  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ . Большая часть значений в этих выборках сосредоточена вокруг медианы. Выбросы по величинам концентраций были отмечены в отдельные периоды наблюдений: на ст. «Хабаровск» – по ионам  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , «Чегдомын» – по  $\text{SO}_4^{2-}$ , «Аян» – по  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NH}_4^+$ .

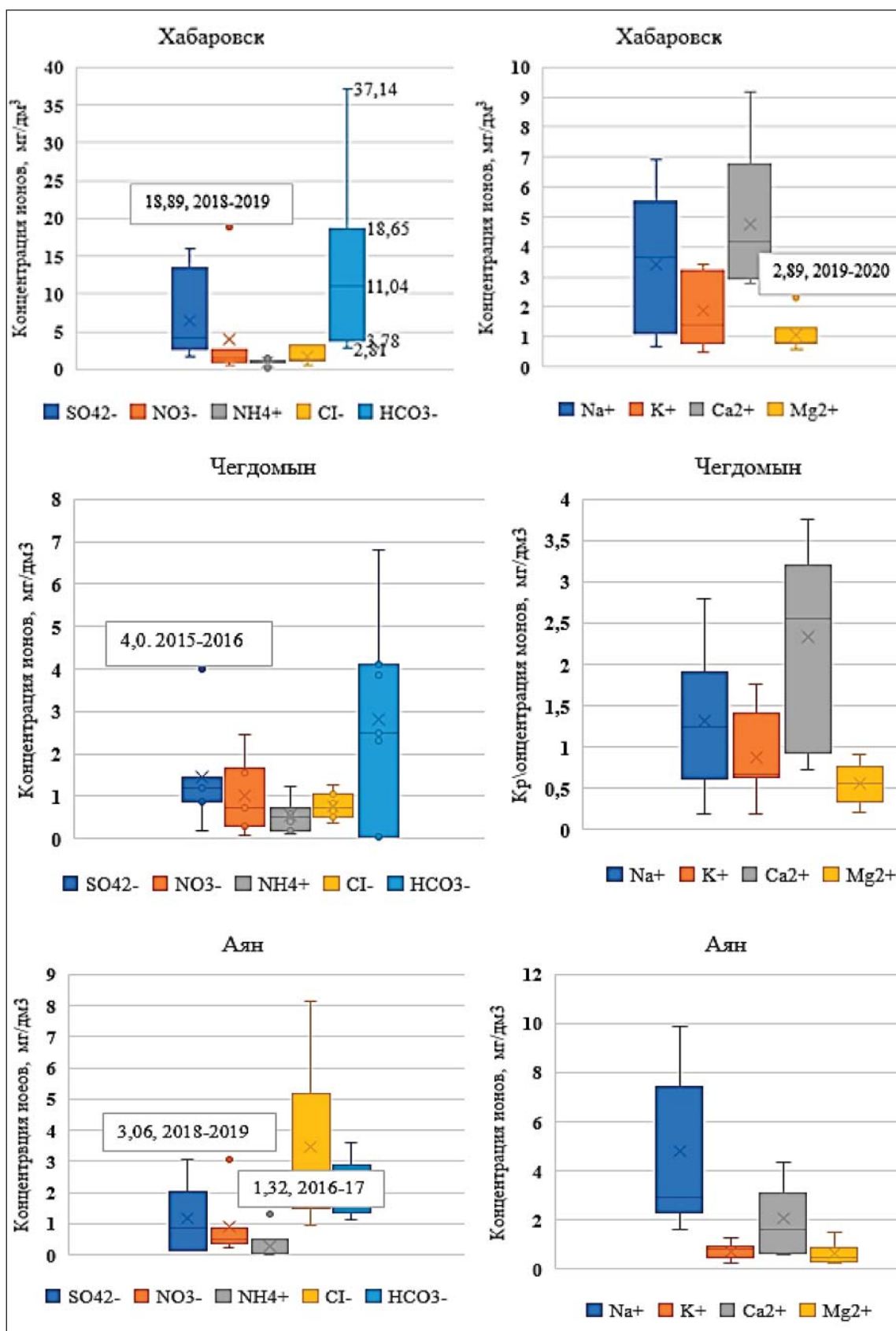
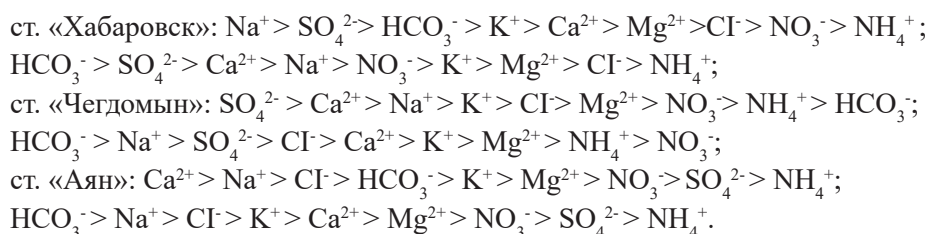


Рис. 4. Поступление главных ионов в снежный покров по метеостанциям Хабаровского края

Результаты наблюдений показали, что по всем метеостанциям отклонение максимальных значений от средних арифметических по концентрации всех главных ионов превышало 100% и изменялось в интервале 161,7–486,5%, что, вероятно, было обусловлено довольно значительной межгодовой изменчивостью величины влагозапаса (рис. 2) Максимальное отклонение от среднего значения было отмечено для  $\text{NH}_4^+$  (448,5% – ст. «Аян») и  $\text{NO}_3^-$  (486,5% – ст. «Хабаровск»). Если рассмотреть средние значения концентрации отдельных ионов в пробах снеговой воды, то можно отметить тенденцию увеличения гидрокарбонатов на ст. «Хабаровск» с зимы 2018–2019 гг., когда влагозапас был минимальным – 9,6 мм (рис. 2). Максимальную величину  $\text{HCO}_3^-$  наблюдали зимой 2019–2020 гг. на ст. «Хабаровск» – 37,14 мг/дм<sup>3</sup>. В эту зиму также были зафиксированы максимальные величины катионов металлов:  $\text{Mg}^{2+}$  – 2,29 мг/дм<sup>3</sup>;  $\text{Ca}^{2+}$  – 9,16 мг/дм<sup>3</sup>;  $\text{K}^+$  – 3,23 мг/дм<sup>3</sup>;  $\text{Na}^+$  – 5,52 мг/дм<sup>3</sup>. Наблюдения по ст. «Чегдомын» выявили тенденцию повышения концентрации карбонатов в снеговой воде в зимы 2020–2021 и 2021–2022 гг. (6,81 и 4,11 мг/дм<sup>3</sup>). Максимальное содержание сульфатов и хлоридов по ст. «Хабаровск» было отмечено в зимы 2018–2019 и 2019–2020 гг. (13,49–15,9 мг/дм<sup>3</sup>; 3,1 мг/дм<sup>3</sup>), нитратов – в зиму 2018–2019 гг.

(18,89 мг/дм<sup>3</sup>). Для сравнения – в снежном покрове в г. Благовещенск среднее содержание сульфатов – 38,62 мг/дм<sup>3</sup> [9].

Изучение геохимии снежного покрова горных ландшафтов Якутии, имеющих низкий уровень техногенного давления (содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  не превышало 0,58–1,07 мг/дм<sup>3</sup>), показало, что соотношение ионов в снеговой воде подчиняется общей гидрохимической закономерности, в соответствии с которой первым анионом пресных и ультрапресных вод является  $\text{HCO}_3^-$  (изменение концентрации наблюдали в диапазоне от 7,9 до 10,9 мг/дм<sup>3</sup>); в катионном составе основным ионом является  $\text{Ca}^{2+}$  (1,1–3,1 мг/дм<sup>3</sup>) [10]. Полученные авторами результаты близки к содержанию ионов  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Ca}^{2+}$  в снеговой воде ст. «Чегдомын», но соотношение ионов в исследованный временной период было иным. Следует отметить, что на ст. «Аян», условно принятой в качестве региональной «фоновой», соотношение макрокомпонентов в снеговой воде заметно отличалось от значений, полученных в исследовании на территории Якутии, что указывало на наличие техногенного загрязнения атмосферы. По соотношению молярных концентраций ионов в снеговой воде в начале (2015–2016 гг.) и конце периода исследований (2021–2022 гг.) были получены следующие ряды, свидетельствующие об изменении доминирующих ионов:



Представленные соотношения главных ионов указывают на тенденцию изменения химического состава снежного покрова по всем метеостанциям – главным ионом становится  $\text{HCO}_3^-$ . В работе [11] отмечалось, что преобладающее воздействие глобальных и/или региональных антропогенных источников (в основном пыли) зимой на юге Дальнего Востока нивелирует сернокислотное техногенное влияние. Известно, что основными источниками поступления в атмосферный воздух катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  являются аэрозоли морской соли, пыль эоловых отложений, промышленные выбросы и взвешенные вещества, связанные с транспортом. Источники выбросов  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_x$  включают объекты энергетики и теплоснаб-

жения, автотранспорт, промышленность, полигоны ТКО. Источники выбросов  $\text{NH}_3$  – сельское хозяйство, полигоны ТКО, последствия лесных пожаров, промышленность [1, 2]. Анионы сульфатов и нитратов обычно образуются в атмосферном воздухе в результате окисления  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_2$ , а застойные метеорологические условия, которые характерны зимой для ст. «Хабаровск» и «Чегдомын», приводят к повышению концентрации  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_2$  в атмосфере и, как следствие, к большему выпадению загрязняющих веществ на снежный покров [7, 12].

### Заключение

Наблюдения за химическим составом снежного покрова на метеостанциях Хаба-

ровского края с 2015 по 2022 г. показали, что по величине рН снеговой воды осадки характеризовались как слабокислые. На ст. «Хабаровск» преобладающее воздействие в зимний период глобальных и/или региональных техногенных и природных источников взвешенных веществ нивелировало величину рН снеговой воды: кислотно-основные свойства определялись избытком нейтрализующих катионов и дефицитом анионов. В малоснежные годы величина рН повышалась до 6,55–6,93 на фоне минимальных величин среднего влагозапаса снежного покрова. Межгодовые изменения величины минерализации снежного покрова на ст. «Хабаровск» были очень значительными: от минимальных величин в зиму 2017–2018 гг. (14,24 мг/дм<sup>3</sup>) до максимальных значений, отмеченных в малоснежные зимы 2018–2020 гг. (60,81 и 78,30 мг/дм<sup>3</sup>). На ст. «Хабаровск» с зимы 2018–2019 гг. можно отметить тенденцию увеличения гидрокарбонатов в снежном покрове (до максимального значения 37,14 мг/дм<sup>3</sup> в 2019–2020 гг.). В эти временные периоды отмечали максимальное содержание сульфатов (13,49–15,9 мг/дм<sup>3</sup>) и нитратов (18,89 мг/дм<sup>3</sup> в 2018–2019 гг.). На ст. «Хабаровск» и «Чегдомын» основной вклад в величину кислотности снежного покрова вносят сульфаты, вероятно имеющие антропогенное происхождение.

По всем метеостанциям была отмечена значительная межгодовая изменчивость содержания главных ионов в снеговой воде, что указывало на локальный характер загрязнения атмосферных осадков. Анализ поступления главных ионов в снежный покров показал, что по межквартильному размаху более однородными были выборки по ионам  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  на ст. «Хабаровск»;  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$  – на ст. «Чегдомын»; по ионам  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  – на ст. «Аян». Большая часть значений в этих выборках сосредоточена вокруг медианы.

Эффект нейтрализации кислотных компонентов в снеговой воде осаждением основных катионов и возможное смещение потенциала подкисления осадков, вероятно, связаны с ростом загрязненности атмосферного воздуха над Хабаровской городской агломерацией в зимний период. Значитель-

ный диапазон колебаний содержания главных ионов в снежном покрове ст. «Аян» указывает на ошибочность решения о выборе ее в качестве условно «фоновой». Причинами колебаний могут быть природно-климатические факторы и влияние локальных источников загрязнения атмосферы, обуславливающих высокие концентрации сульфатов и нитратов.

### Список литературы

1. Duan L., Yu Q., Zhang Q., Wang Z., Pan Y., Larssen T., Mulder J. Acid deposition in Asia: Emissions, deposition, and ecosystem effects // *Atmospheric Environment*. 2016. Vol. 146. P. 55–69. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.07.018.
2. Vet R., Artz R.S., Carou S., Shaw M., Ro C.U., Aas W., Reid N.W. A global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and pH, and phosphorus // *Atmospheric Environment*. 2014. Vol. 93. P. 3–100. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.10.060.
3. Obolkin V., Khodzher T., Sorokovikova L., Tomberg I., Netsvetaeva O., Golobokova L. Effect of long-range transport of sulphur and nitrogen oxides from large coal power plants on acidification of river waters in the Baikal region, East Siberia // *International Journal of Environmental Studies*. 2016. Vol. 73 (3). P. 452–461. DOI: 10.1080/00207233.2016.1165481.
4. Галушин Д.А., Громов С.А., Авдеев С.М. Межгодовая динамика химического состава и кислотности атмосферных осадков на территории Приморского края за период с 2011 по 2020 г. // *Успехи современного естествознания*. 2022. № 3. С. 42–48.
5. Кондратьев И.И., Муха Д.Э., Болдескул А.Г., Юрченко С.Г., Луценко Т.Н. О химическом составе атмосферных осадков и снежного покрова в Приморском крае // *Метеорология и гидрология*. 2017. № 1. С. 91–100.
6. Кондратьев И.И. Трансграничный фактор в изменчивости химического состава осадков на юге Дальнего Востока // *География и природные ресурсы*. 2009. № 3. С. 31–36.
7. Li R., Cui L., Zhao Y., Zhang Z., Sun T., Li J., Fu H. Wet deposition of inorganic ions in 320 cities across China: spatio-temporal variation, source apportionment, and dominant factors // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2019. Vol. 19 (17). P. 11043–11070.
8. Cao J., Tie X., Dabberdt W.F., Jie T., Zhao Z., An Z., Feng Y. On the potential high acid deposition in northeastern China // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2013. Vol. 118 (10). P. 4834–4846. DOI: 10.1002/jgrd.50381.
9. Радомская В.И., Юсупов Д.В., Павлова Л.М. Макрокомпонентный состав снежного покрова г. Благовещенска // *Вода: химия и экология*. 2014. № 8. С. 95–103.
10. Кириллин А.Р., Макаров В.Н. Геохимия снежного покрова горных мерзлотных ландшафтов Эльконского ураново-рудного района // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2016. № 4 (84). С. 64–69.
11. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г. Особенности химического состава атмосферных осадков на юге Дальнего Востока // *Водные ресурсы*. 2008. № 35 (1). С. 60–71.
12. Yu H., He N., Wang Q., Zhu J., Gao Y., Zhang Y., Yu G. Development of atmospheric acid deposition in China from the 1990s to the 2010s // *Environmental Pollution*. 2017. Vol. 231. P. 182–190. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.08.014.

СТАТЬИ

УДК 556:628.161.2  
DOI 10.17513/use.38251

**СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД  
ДИАТОМИТОМ ОТ ИОНОВ ЦИНКА**

**Агейкина О.В., Голянская С.А., Качалова Г.С.**

*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: agejkinaov@tyuiu.ru*

**Аннотация.** В статье рассмотрены сорбционные возможности диатомита по отношению к ионам цинка в модельных растворах. Количественную оценку закономерностей процесса сорбции ионов цинка на природном диатомите проводили по моделям сорбционных равновесий – Ленгмюра, Фрейндлиха, Тёмкина, Дубинина – Радушкевича. Определены параметры сорбции ионов цинка природным диатомитом по моделям при различных температурах методом наименьших квадратов и определена статистическая значимость полученных уравнений регрессии. Проверка предпосылок метода наименьших квадратов подтвердила корректность использования данного метода для построения уравнений регрессии. По адекватности описания сорбции ионов цинка природным диатомитом выявлено, что с повышением температуры протекают сорбционные процессы физической природы на активных центрах с максимальной энергией неоднородной поверхности сорбента. Обработка диатомита модификаторами HCl, NaOH, NaCl приводит также к экспоненциальному распределению избыточной энергии на активных центрах неоднородной поверхности сорбента. При модификации сорбента происходит изменение его поверхности в сторону большей неоднородности по сравнению с его природной формой. Подходящим модификатором для повышения сорбционной активности диатомита показал себя хлорид натрия. Сорбционный процесс протекает с одинаковой интенсивностью, если его проводить при 333 К либо на солевой форме сорбента.

**Ключевые слова:** диатомит, природный сорбент, сорбция, ионы цинка, химическая модификация сорбента, статистическая обработка, метод наименьших квадратов

**SORPTION TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER  
FROM ZINC IONS BY DIATOMITE**

**Ageykina O.V., Golyanskaya S.A., Kachalova G.S.**

*Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: agejkinaov@tyuiu.ru@tyuiu.ru*

**Annotation.** The article considers the sorption capabilities of diatomite in relation to zinc ions in model solutions. Quantitative assessment of the regularities of the process of sorption of zinc ions on natural diatomite was carried out using the models of sorption equilibria – Langmuir, Freundlich, Temkin, Dubinin – Radushkevich. The parameters of the sorption of zinc ions by natural diatomite were determined using models at different temperatures by the least squares method and the statistical significance of the obtained regression equations was determined. Verification of the prerequisites of the least squares method confirmed the correctness of using this method to construct regression equations. According to the adequacy of the description of the sorption of zinc ions by natural diatomite, it was revealed that with an increase in temperature, sorption processes of a physical nature occur at active centers with maximum energy of the inhomogeneous surface of the sorbent. Treatment of diatomite with HCl, NaOH and NaCl modifiers also leads to an exponential distribution of excess energy on the active centers of the inhomogeneous surface of the sorbent. When the sorbent is modified, its surface changes towards greater heterogeneity compared to its natural form. Sodium chloride proved to be a suitable modifier for increasing the sorption activity of diatomite. The sorption process proceeds with the same intensity if it is carried out at 333 K or on the salt form of the sorbent.

**Keywords:** diatomite, natural sorbent, sorption, zinc ions, chemical modification of sorbent, statistical processing, least squares method

В богатой палитре природных ресурсов России представлены обширные запасы опал-кристаллитовых пород. В их числе значительный объем занимают диатомитовые залежи. Диатомиты различных месторождений схожи по химическому составу [1–3]. Это биоморфные тонкозернистые породы пелитоморфной структуры, в минералогическом составе которых преобладает аморфный кремнезем, а также имеются глинистые включения. Общей особенностью породы является наличие пористой структуры.

Химический состав, пористая структура и физические свойства диатомита определяют широкий спектр применения в раз-

личных технологиях. Микроэлементный состав породы позволяет использовать его как фильтровальный материал [1, с. 101].

Отмеченные особенности диатомита определяют практическую значимость его использования в развитии технологической культуры в рамках «зеленой повестки». При этом в современных условиях особое значение в природосообразной деятельности имеет водоочистка от экологически опасных для окружающей среды тяжелых металлов [4–6]. Характерным и распространенным загрязнителем природных и сточных вод являются ионы цинка. Цинк мигрирует в гидросферу в результате разрушения горных пород и минералов, недостаточной очистки

сточных вод горно-обогатительных комбинатов, гальванических цехов, производств минеральных красок, вязкого волокна и других производств [7]. В этом контексте актуальным направлением исследований является изучение сорбционных характеристик фильтровальных материалов.

Цель исследования – изучение сорбционных свойств диатомита в растворах, содержащих ионы цинка, с возможным использованием данного природного сорбента в технологии обработки промышленных сточных вод.

#### Материалы и методы исследования

Исследования проводили на природном диатомите Ирбитского месторождения (Свердловская область). Он представляет собой мелкодисперсный пылеватый порошок светло-серого цвета. Химический состав диатомита был установлен с помощью сканирующей электронной микроскопии [4] и представлен в табл. 1. По результатам анализа видно, что основным компонентом природного минерала является диоксид кремния, что объясняет высокую кислотостойкость сорбента.

Сорбционную активность диатомита изучали в статических условиях на модельных растворах сульфата цинка при температурах 298, 318 и 333 К. Для этого 1 г сорбента заливали 50 мл модельного раствора

с переменным содержанием ионов цинка. Приготовленные системы выдерживали при заданной температуре до установления сорбционного равновесия. Концентрацию ионов цинка определяли трилометрическим методом. Количество поглощенных ионов (ммоль/г) рассчитывали по формуле

$$A = \frac{(C_0 - C_p)}{m} \cdot V, \text{ ммоль/г},$$

где  $C_0$  и  $C_p$  – исходная и равновесная концентрации ионов цинка в растворе, ммоль/мл;  $V$  – объем исходного раствора, мл;  $m$  – масса навески сорбента, г.

Для повышения сорбционной активности природного диатомита проводили химическую модификацию минерала растворами соляной кислоты, гидроксида натрия и хлорида натрия методом пропитки в течение одних суток с концентрацией модификаторов 0,2 М.

Для описания процесса сорбции использовали модели Ленгмюра, Фрейндлиха, Тёмкина и Дубинина – Радужкевича. Параметры моделей были определены по результатам статистической обработки эксперимента методом наименьших квадратов (МНК) с использованием онлайн-калькулятора «Math». При этом модельное представление было линеаризовано с помощью стандартных математических преобразований.

Таблица 1

Химический состав диатомита Ирбитского месторождения

Содержание	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Прочие примеси
% мас.	80,11	9,18	4,90	0,29	1,83	0,70	0,98	0,81	1,19

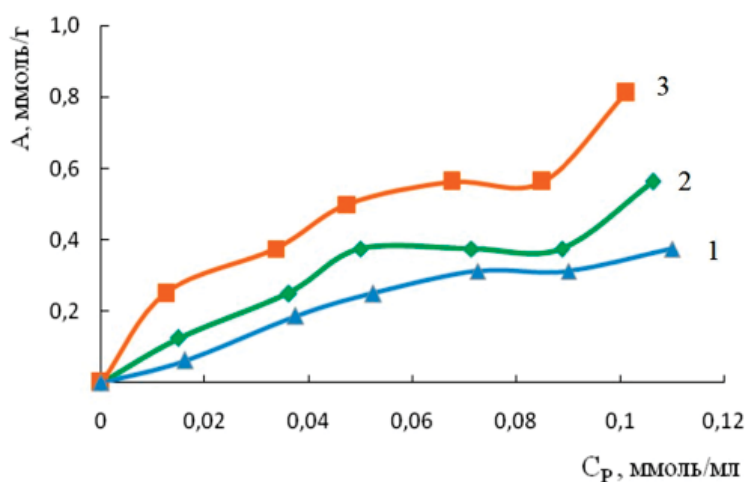


Рис. 1. Изотермы сорбции ионов цинка на природном диатомите при температурах, К: 298 (1), 318 (2), 333 (3)



**Результаты исследования  
и их обсуждение**

Любая разработка технологии сорбционной очистки требует изучения закономерностей процесса сорбции. Основные сведения о сорбционной способности диатомита могут быть получены из изотерм сорбции. На рис. 1 представлены изотермы адсорбции ионов цинка диатомитом в природной форме при различных температурах.

Как видно из рис. 1, сорбционная активность диатомита по отношению к ионам цинка с ростом температуры имеет эндотермический характер. Экспериментальные данные позволяют предположить хемосорбционное взаимодействие сорбата и сорбента. Вид полученных изотерм характерен для природных сорбентов [8].

Для количественной оценки закономерностей процесса сорбции ионов цинка на природном диатомите использовали модели сорбционных равновесий, приведенные в табл. 2.

Модель Ленгмюра предполагает наличие определенного числа активных сорбционных центров с одним и тем же сорбционным потенциалом, что способствует образованию монослоя сорбата. В данной модели  $A_\infty$  – предельная адсорбционная емкость монослоя и  $K_L$  – постоянная сорбционного равновесия. Модель Фрейндлиха применяют для описания адсорбции на неоднородной поверхности с неравномерным распределением активных адсорбционных центров по величинам энергии адсорбции. В данной модели  $K_F$  – константа, относящаяся к адсорбционной емкости,  $1/n$  – параметр, характеризующий интенсивность

сорбционного процесса. Модель Тёмкина описывает изотерму адсорбции на равномерно неоднородной поверхности адсорбента. В данной модели  $K_T$  – константа сорбционного равновесия,  $\infty$  – константа, характеризующая теплоту адсорбции.

Представленные модели не дают информации о природе взаимодействия адсорбата и адсорбента. Для этих целей используют модель Дубинина – Радужкевича, которая позволяет установить физический или химический механизм адсорбционного взаимодействия. В данной модели  $A_m$  – максимальная сорбционная емкость,  $k$  – константа, связанная с энергией адсорбции ( $E$ );  $\varepsilon$  – потенциал Поляни [9].

Графическую проверку выполнения соответствующих моделей проводили по линеаризованным формам уравнений, что позволяет констатировать выполнение той или иной закономерности без учета констант, входящих в эти уравнения. Графическая интерпретация линеаризованных экспериментальных данных для статистической обработки в модели Фрейндлиха представлена на рис. 2.

В процессе статистической обработки экспериментальных данных были определены:

- параметры уравнения линейной регрессии  $y = a + bx$ , линейный коэффициент корреляции с проверкой его значимости;
- теснота связи с помощью показателей корреляции и детерминации, МНК-оценка, статическая надежность регрессионного моделирования с помощью F-критерия Фишера и с помощью t-критерия Стьюдента, доверительный интервал прогноза для уровня значимости 0,05.

**Таблица 2**

Модели сорбционных равновесий

Модель	Нелинейная форма	Линейная форма	Координаты	Параметры уравнения
Ленгмюра	$A = A_\infty \cdot \frac{K_L \cdot C_p}{1 + K_L \cdot C_p}$	$\frac{C_p}{A} = \frac{C_p}{A_\infty} + \frac{1}{A_\infty \cdot K_L}$	$C_p / A = f(C_p)$	$K_L, A_\infty$
Фрейндлиха	$A = K_F \cdot C_p^{1/n}$	$lgA = lgK_F + \frac{1}{n} \cdot lgC_p$	$lgA = f(lgC_p)$	$K_F, n$
Тёмкина	$A = \frac{1}{\infty} \cdot \ln(K_T \cdot C_p)$	$A = \frac{1}{\infty} \cdot \ln K_T + \frac{1}{\infty} \cdot \ln C_p$	$A = f(\ln C_p)$	$K_T, \infty$
Дубинина – Радужкевича	$A = A_m \cdot exp(-k\varepsilon^2)$	$lnA = lnA_m - k\varepsilon^2$	$lnA = f(\varepsilon^2)$	$k, A_m$

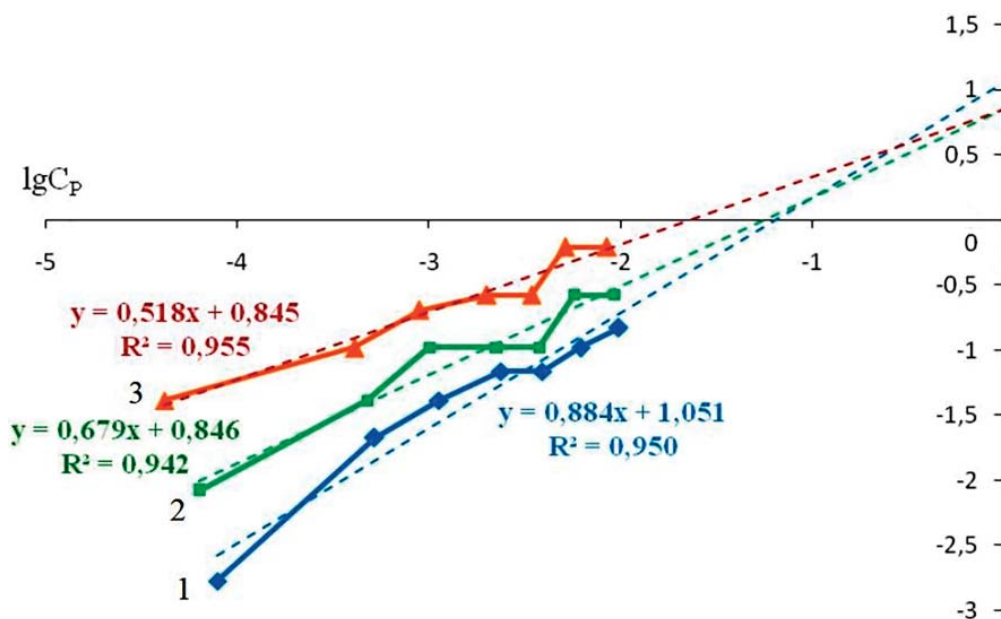


Рис. 2. Изотермы сорбции ионов цинка на диатомите при температурах, К: 298 (1), 318 (2), 333 (3), в линейных координатах (модель Фрейндлиха)

Таблица 3

Результаты математического описания изотермы сорбции при 318 К различными моделями

Показатели	Модель			
	Ленгмюра	Тёмкина	Фрейндлиха	Дубинина – Радужкевича
$A_{\infty}, 1/\infty, 1/n, A_m$ (соответственно)	0,99	0,20	0,88	0,95
$K_l, K_r, K_F, E$ (соответственно)	9,57	111,95	2,83	5,15
Преобразование и метод линеаризации	$Y = x/y; X = x$ Замена переменных	$Y = y; X = \ln(x);$ Комбинированный	$Y = \ln(y); X = \ln(x);$ Логарифмирование	$Y = \ln(y); X = (x^2);$ Логарифмирование
Уравнение регрессии	$y = 1,01 x + 0,11$	$y = 0,20 x + 0,94$	$y = 0,68 x + 0,85$	$y = -0,05 - 0,02 x$
Коэффициент линейной парной корреляции (R)	0,880 статистически значим	0,944 статистически значим	0,970 статистически значим	0,984 статистически значим
Коэффициент детерминации ( $R^2$ )	0,774	0,891	0,942	0,968
Средняя ошибка аппроксимации, %	8,4	12,4	-10,45	-8,45
Статистическая значимость коэффициента регрессии по критерию Стьюдента	b подтверждается; a подтверждается	b подтверждается; a подтверждается	b подтверждается; a подтверждается	b подтверждается; a не подтверждается
Оценка статистической значимости уравнения регрессии по F-критерию Фишера	статистически надежно	статистически надежно	статистически надежно	статистически надежно
Проверка модели по нормальности распределения остаточной компоненты	модель адекватна	модель адекватна	модель адекватна	модель адекватна

Что касается МНК-оценки, то проверка наличия предпосылок МНК была выполнена по следующим показателям:

- проверка на наличие автокорреляции остатков по критерию Дарбина – Уотсона;
- проверка нормальности распределения остаточной компоненты по RS-критерию;
- проверка гетероскедастичности и гомоскедастичности с использованием теста Спирмена.

В табл. 3 в качестве примера представлены результаты статистической обработки математического описания изотермы сорбции ионов цинка при 318 К различными моделями.

Выполнена оценка параметров моделей сорбции методом наименьших квадратов. Статистическая значимость уравнений проверена с помощью коэффициентов детерминации и критерия Фишера. Установлено, что в исследуемой системе от 77,39 до 96,81 % общей вариабельности количества поглощенных ионов цинка объясняется изменением равновесной концентрации ионов цинка в растворе (потенциалом Поляни в модели Дубинина – Радущкевича). Также определено, что параметры модели статистически значимы.

Наряду с этим в модели Дубинина – Радущкевича не подтверждается значимость коэффициента  $a$ .

Однако в данном случае коэффициентом  $a$  нельзя пренебречь, что подтверждает оценка статистической значимости уравнения регрессии по F-критерию Фишера, а также адекватность модели по нормальности распределения остаточной компоненты. Представленные оценки уравнений регрессии позволяют использовать их для прогноза. Линейные коэффициенты корреляции изменяются от 0,88 до 0,984, следовательно, связь между количеством поглощенных ионов и равновесной концентрацией ионов цинка весьма высокая и прямая. Также подтверждена значимость линейных коэффициентов корреляции.

Значение ошибки аппроксимации (8,4–12,4 %) говорит об удовлетворительном качестве используемых моделей. Проверка предпосылок МНК подтвердила корректность использования данного метода для построения уравнений регрессии.

В результате статистической обработки экспериментальных данных изотерм сорбции были определены параметры в используемых моделях, табл. 4.

Таблица 4

Параметры сорбции ионов цинка природным диатомитом при различных температурах

Параметры модели Ленгмюра					
$T, K$	$A_{\infty}, \text{ммоль/г}$	$K_L, \text{моль}^2/\text{кДж}^2$	$R$	$R^2$	
298	1,34	3,72	0,731	0,534	
318	0,99	9,57	0,880	0,775	
333	1,16	15,96	0,923	0,851	
Параметры модели Фрейндлиха					
$T, K$	$1/n$	$K_F, \text{ммоль/г}$	$R$	$R^2$	
298	0,88	2,83	0,975	0,950	
318	0,68	2,33	0,970	0,942	
333	0,52	2,33	0,977	0,955	
Параметры модели Тёмкина					
$T, K$	$1/\infty, \text{моль/Дж}$	$K_T, \text{г/ммоль}$	$R$	$R^2$	
298	0,17	84,17	0,990	0,980	
318	0,20	111,95	0,944	0,891	
333	0,25	172,74	0,933	0,871	
Параметры модели Дубинина – Радущкевича					
$T, K$	$A_m, \text{ммоль/г}$	$k, \text{моль}^2/\text{кДж}^2$	$E, \text{кДж/моль}$	$R$	$R^2$
298	0,93	0,03	4,45	0,994	0,988
318	0,95	0,02	5,15	0,984	0,968
333	1,05	0,01	6,30	0,970	0,941

Табличные данные показывают, что модель Ленгмюра не подходит для описания адсорбции ионов цинка на диатомите из-за низкого коэффициента детерминации ( $R^2$ ), который повышается с ростом температуры, что, вероятно, связано с перераспределением доли вклада протекаемого вида сорбции (физической, химической либо ионообменной). Увеличение температуры приводит к усилению взаимодействия сорбат – сорбент, что подтверждается возрастанием константы Ленгмюра ( $K_L$ ). По полученным в табл. 4 данным видно, что при описании адсорбционного равновесия ионов цинка на природном сорбенте можно применять уравнения для неоднородной поверхности (модели Фрейндлиха и Тёмкина). Активные адсорбционные центры по этим моделям обладают различными величинами энергии и происходит преимущественное заполнение адсорбционных центров с максимальной энергией. Модель Тёмкина хо-

рошо описывает изучаемый сорбционный процесс, с ростом температуры усиливается взаимодействие между адсорбционными центрами природного диатомита и ионами цинка ( $K_T$  возрастает). Но модель Фрейндлиха лучше коррелирует с экспериментальными данными, поскольку для нее коэффициенты детерминации больше, чем в модели Тёмкина. Это указывает на экспоненциальное распределение энергии адсорбционных центров, и эта неоднородность с ростом температуры увеличивается ( $1/n \rightarrow 0$ ).

По модели адсорбции Дубинина – Радужкевича коэффициенты детерминации достаточно высокие, с ростом температуры свободная энергия адсорбции ( $E$ ) возрастает, но всё в пределах физической природы взаимодействия адсорбата и адсорбента до 8 кДж/моль.

Путем сопоставления коэффициентов детерминации для описания сорбции ионов цинка природным диатомитом модели составляют следующие ряды:

298 К: Ленгмюра < Фрейндлиха < Тёмкина < Дубинина – Радужкевича;

318 К: Ленгмюра < Тёмкина < Фрейндлиха < Дубинина – Радужкевича;

333 К: Ленгмюра < Тёмкина < Дубинина – Радужкевича < Фрейндлиха.

По полученным рядам наглядно видно, что повышение температуры способствует протеканию сорбционного процесса на активных центрах с максимальной энергией неоднородной поверхности сорбента (по модели Фрейндлиха).

Природные диатомиты обладают достаточно хорошей сорбционной способностью, однако повысить их сорбционную емкость можно модифицированием поверхностных слоев. Химическая модификация сорбента может быть кислотной, щелочной [5, 6] либо их сочетанием [10], а также распространена солевая обработка поверхности [11]. При этом активация диатомита направлена на улучшение степени дисперсности и пористости сорбента, а также на изменение химической природы поверхности сорбента путем закрепления на активных центрах модифицирующего агента [3, 10]. Результат модифицирования определяется природой и концентрацией модификатора, природой сорбента, а также технологическими параметрами (температурой обработки, временем контактирования с модификатором, промывкой от мешающих ионов и др.).

На рис. 3 приведены изотермы сорбции ионов цинка на диатомите при химических модификациях. Из рисунка видно, что предварительная пропитка сорбента

раствором соляной кислоты не приводит к увеличению сорбции. Эффект снижения поглощения ионов тяжелых металлов при кислотной активации диатомита также отмечен в работах [5, 6].

На начальном участке изотерм можно отметить эффект интенсификации процесса для щелочной и солевой форм сорбента. В целом величина сорбции диатомита, обработанного хлоридом натрия, возрастает по сравнению с природной формой, а при обработке щелочью снижается с ростом концентрации.

Найденные параметры сорбции ионов цинка на модифицированном диатомите позволяют сделать вывод, что при обработке сорбента модификаторами происходит изменение его поверхности в сторону большей неоднородности ( $1/n$  уменьшается) по сравнению с природной формой (табл. 5). Модель Тёмкина не описывает сорбцию на модифицированном диатомите (низкие значения коэффициентов детерминации). Из данных табл. 4 и 5 видно, что сорбционный процесс протекает с одинаковой интенсивностью, если его проводить при 333 К либо на солевой форме сорбента. Для разработки технологии сорбционной очистки предпочтительнее использование солевой формы диатомита, так как это менее энергозатратно.

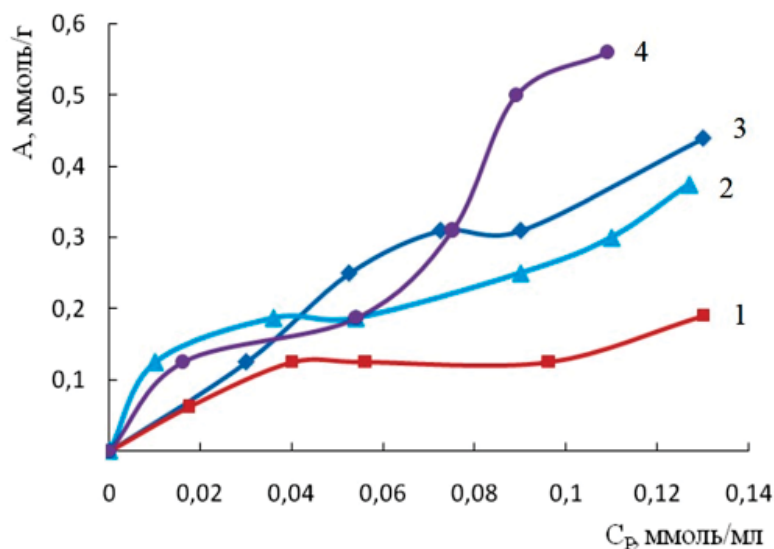


Рис. 3. Изотермы сорбции ионов цинка на диатомите при температуре 298 К, обработка сорбента: кислотная (1), щелочная (2), природная форма (3), солевая (4)

Таблица 5

Параметры сорбции ионов цинка природным и модифицированным диатомитом при 298 К

Параметры модели Ленгмюра					
Модификация	$A_{\infty}$ , ммоль/г	$K_L$ , моль <sup>2</sup> /кДж <sup>2</sup>	$R$	$R^2$	
Природный	1,34	3,72	0,731	0,534	
NaCl	2,42	2,32	0,239	0,057	
NaOH	0,44	20,80	0,906	0,820	
HCl	0,23	21,91	0,911	0,831	
Параметры модели Фрейндлиха					
Модификация	$1/n$	$K_F$ , ммоль/г	$R$	$R^2$	
Природный	0,88	2,83	0,975	0,950	
NaCl	0,52	1,23	0,918	0,843	
NaOH	0,47	1,12	0,977	0,955	
HCl	0,66	1,18	0,974	0,935	
Параметры модели Тёмкина					
Модификация	$1/\infty$ , моль/Дж	$K_T$ , г/ммоль	$R$	$R^2$	
Природный	0,17	84,16	0,990	0,980	
NaCl	0,06	5,76	0,428	0,183	
NaOH	0,04	11,79	0,449	0,202	
HCl	0,03	3,43	0,590	0,348	
Параметры модели Дубинина – Радушкевича					
Модификация	$A_m$ , ммоль/г	$k$ , моль <sup>2</sup> /кДж <sup>2</sup>	$E$ , кДж/моль	$R$	$R^2$
Природный	0,93	0,03	4,45	0,994	0,988
NaCl	1,20	0,02	5,10	0,885	0,783
NaOH	2,58	0,01	7,31	0,911	0,829
HCl	4,03	0,01	6,20	0,932	0,865

### Заключение

Проведены исследования по изучению сорбционных свойств природного и модифицированного диатомита в водных растворах, содержащих ионы цинка. Поглощающая способность природной формы диатомита увеличивается с ростом температуры. Также повышение сорбционной емкости диатомита отмечено при солевой обработке сорбента. Поэтому изучаемый природный сорбент (диатомит) можно использовать в обработке промышленных сточных вод.

### Список литературы

1. Смирнов П.В. Результаты комплексных исследований вещественного состава диатомитов Ирбитского месторождения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327, № 6. С. 93–104.
2. Убаськина Ю.А., Арсентьев И.В., Фетюхина Е.Г., Адаев Т.В. Исследование минералогического состава диатомита для его безопасной добычи и применения в промышленности // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 128–132.
3. Борисков Д.Е., Кузьмин А.А., Комарова Н.А., Давыдова М.А. Влияние типа модификации диатомита на его сорбционную способность // Инновационная техника и технология. 2019. № 3 (20). С. 68–74.
4. Пимнева Л.А. Очистка природных и промышленных вод от катионов меди диатомитом // Успехи современного естествознания. 2022. № 12. С. 181–185. DOI: 10.17513/use.37968.
5. Борисков Д.Е., Ефремова С.Ю., Комарова Н.А. Изучение адсорбции ионов кадмия из растворов на природном и модифицированных диатомитах // Известия Саратовского университета. Серия: Химия. Биология. Экология. 2023. Т. 23, № 1. С. 70–76. DOI: 10.18500/1816-9775-2023-23-1-70-76.
6. Полещук И.Н., Усова Е.Л., Полещук В.В. Извлечение катионов свинца природным и модифицированным диатомитом // Успехи современного естествознания. 2023. № 4. С. 109–114. DOI 10.17513/use.38032.
7. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Сорбционные процессы при загрязнении подземных вод тяжелыми металлами и радиоактивными элементами. Цинк. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2014. № 102. 99 с.
8. Костин А.В., Мостальгина Л.В., Бухтояров О.И. Изучение механизма сорбции ионов цинка и кадмия на бентонитовой глине // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2015. Т. 51, № 5. С. 477–482.
9. Дударев В.И., Иринчинова Н.В., Филатова Е.Г. Адсорбция ионов никеля (II) из водных растворов углеродными адсорбентами // Известия вузов. Химия и хим. технология. 2017. Т. 60, Вып. 1. С. 75–80. DOI: 10.6060/tect.2017601.5455.
10. Максатова А.М., Везенцев А.И., Михайлюкова М.О., Калашникова Л.А. Физико-химические основы получения адсорбента на основе диатомита // Вестник современных исследований. 2017. № 7–1. С. 162–169.
11. Хурамшина И.З., Никифоров А.Ф., Ушакова Л.И. Химическая активация природных минеральных сорбентов на основе опал-кristобалитовых пород Свердловской области // Бутлеровские сообщения. 2016. Т. 47, № 8. С. 125–132.

УДК 622.271.3:556.16  
DOI 10.17513/use.38252

## ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕКРЕАЦИОННОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ХАРБАЛАХСКОГО РАЗРЕЗА

<sup>1</sup>Заровняев Б.Н., <sup>1</sup>Антоева С.П., <sup>2</sup>Попов В.Н., <sup>3</sup>Федоров А.А.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск;

<sup>2</sup>АО «Телен», Харбалах, Таттинский район, Республика Саха (Якутия);

<sup>3</sup>ГБПОУ Республики Саха (Якутия) «Харбалахский образовательный комплекс имени Н.Е. Мординова – Амма Аччыгыя», Харбалах, e-mail: mine\_academy@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлены особенности разработки Харбалахского каменноугольного месторождения, имеющего пологое залегание пластов с имеющимся междупластьем мощностью 0,8 м. Вскрытие месторождения осуществлено капитальными наклонными центральными и фланговыми траншеями с подъездными путями, выезжающими на руслоограждающую дамбу. Вскрытие нижележащих горизонтов произведено капитальными внутренними съездами. Для разработки месторождения принята сплошная односторонняя система разработки с комбинированным внутренним отвалообразованием, с разделением вскрышных работ на два слоя и раздельной технологией их выемки. На верхних горизонтах используется механическое рыхление мерзлой вскрыши бульдозерами и их выталкиванием в выработанное пространство. На нижнем слое вскрышные работы ведутся с применением буровзрывного рыхления с вывозом взорванной горной массы автосамосвалами во внутренний отвал. Таким образом формируются внутренний бульдозерный и автомобильный отвалы для дальнейшей их рекультивации. Выполненный анализ горно-геологических и геотехнологических условий эксплуатации Харбалахского разреза показал эффективность существующей технологии с комбинированным бульдозерным и автомобильным внутренним отвалообразованием, благоприятствующим рекреационной рекультивации созданием водоема на отработанном карьерном поле. Анализ динамики коэффициента вскрыши по годам показал его ежегодный рост из-за рельефа местности, которая приведет к полному заполнению выработанного пространства породами вскрыши к 2026–2027 гг. с переходом на сельскохозяйственную и лесохозяйственную рекультивацию карьерного поля.

**Ключевые слова:** геотехнология, малый разрез, породы вскрыши, выработанное пространство, рекреационная рекультивация, водоем

## GEOTECHNOLOGICAL FOUNDATIONS OF RECREATIONAL RECLAMATION OF THE KHARBALAKH QUARRY

<sup>1</sup>Zarovnyaev B.N., <sup>1</sup>Antoeva S.P., <sup>2</sup>Popov V.N., <sup>3</sup>Fedorov A.A.

<sup>1</sup>North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk;

<sup>2</sup>JSC Telen, Kharbalakh, Tattinsky District, Sakha Republic;

<sup>3</sup>Kharbalakh educational complex named after N.E. Mordinov – Amma Achchygyya, Kharbalakh, e-mail: mine\_academy@mail.ru

**Annotation.** The work examines the Kharbalakh coal deposit, which has a horizontal occurrence of layers with interlayers and a thickness of 0.8 m. The opening of the deposit was carried out using capital inclined central and flank trenches with circular access roads leading to a channel-fencing dam. The opening of the underlying horizons was carried out by capital internal exits. To develop the deposit, a continuous single-sided development system with combined internal dumping was adopted, in accordance with the mining technologies used: with mechanical loosening with bulldozers with pushing the overburden into the mined-out space and with the use of drilling and blasting operations with removal of the overburden by dump trucks into the internal dump. In this way, internal bulldozer and automobile dumps are formed for their further reclamation. The analysis of the mining, geological and geotechnological operating conditions of the Kharbalakh open-pit mine showed the effectiveness of the existing technology with combined bulldozer and automobile internal dumping, conducive to recreational reclamation by creating a reservoir on a spent quarry field. Analysis of the dynamics of the stripping coefficient over the years showed its annual growth due to the terrain, which will lead to complete filling of the mined-out space with overburden rocks by 2026–2027 with the transition to agricultural and forestry reclamation of the quarry field.

**Keywords:** geotechnology, small quarry, overburden rocks, goaf out quarry, recreational reclamation, bodies of water

Республика Саха (Якутия) расположена в зоне многолетней мерзлоты с продолжительным (9 месяцев) зимним периодом, требующим в значительном объеме теплоснабжения горючих ресурсов в виде каменного угля. В связи с этим угледобывающая промышленность в суровых природно-климатических условиях является важным звеном для развития

экономики региона. Как известно, предприятия угольной промышленности помимо обеспечения теплом оказывают существенное негативное влияние на окружающую среду: атмосферный воздух, земельные и водные ресурсы, флору и фауну, а также деградацию мерзлых горных пород, вызывающих деформацию бортов карьеров, от-

валов и прикарьерных земель. В результате происходит изъятие из землепользования территорий как сельскохозяйственного, так и лесохозяйственного назначения.

Одним из ведущих предприятий угледобывающей промышленности республики является разрез «Харбалахский», добывающий каменный уголь открытым способом, с ежегодным объемом около 150 тыс. т угля в год. Разрез «Харбалахский» дислоцируется на междуречье Лено-Амгинского плоскогорья и характеризуется слабой расчлененностью рельефа карьерного поля. Разрез разрабатывает один угольный пласт – «Карьерный» (марка угля – Д). Пласт разделен на две угольные пачки – верхнюю, мощностью 4,0 м, и нижнюю – 2,7 м. Между двумя пачками угля имеется породный прослой мощностью 0,8 м, представленный крупнозернистым алевролитом. Вскрышные породы представлены преимущественно крупнозернистыми уплотненными песчаниками и алевролитами в мерзлом состоянии. Суммарная мощность вскрышных пород составляет 8,4 м. Проектом разработки месторождения принят угол откоса уступов 40–55° для песчано-глинистых пород и 55–70° при выемке песчаников, алевролитов и угля.

С учетом почти горизонтального залегания пласта месторождение вскрыто внешней капитальной наклонной траншеей центрального заложения, а также фланговыми внешними капитальными траншеями. Вскрытие последующих нижележащих горизонтов производится внутренними капитальными съездами. Транспорт на карьере реализован с использованием автосамосвалов на вскрышных и добычных работах. В качестве погрузочного оборудования используются экскаватор и погрузчик. Учи-

тывая простое строение месторождения, выбрана сплошная однобортная система разработки с частичным внутренним отвалообразованием. Вскрышные работы разделены на два этапа. На верхнем выветрелом горизонте используется выемка породы с механическим рыхлением с последующим их выталкиванием в выработанное пространство для формирования внутреннего отвала. Для разработки нижней части вскрыши применяются буровзрывные работы. При этом взорванная горная масса автосамосвалами перемещается во внутренний отвал.

В результате формируются внутренний бульдозерный и автомобильный отвалы, подлежащие рекультивации.

Целью исследований является максимальное сокращение отчуждаемых земель и создание технологически возможных, экономически эффективных методов рекультивации нарушенных земель с использованием благоприятных естественных природно-климатических условий.

При дальнейшем развитии фронта горных работ согласно горно-геологическим условиям месторождения предусматривается постепенное увеличение коэффициента вскрыши, что может привести к частичному внешнему отвалообразованию. Это увеличит площади отчуждаемых земель под отвалы и увеличит объемы рекультивационных работ. В связи с этим стоит задача сокращения нарушаемых площадей. Для решения поставленной задачи наиболее перспективными являются системы разработки с внутренним отвалообразованием, при которых возможно полное использование выработанного пространства, что значительно снижает объемы рекультивационных работ [1–4].



Рис. 1. Капитальная вскрывающая траншея и угольные пласты разреза «Харбалахский»



В работе [5] представлена технология, предусматривающая промораживание ледяной призмы в основании отвала и укрепление отвала путем закладки перфорированных труб на определенном расстоянии с учетом радиуса промораживания вокруг каждой трубы и отсыпание песчано-гравийной смесью (ПГС) в форме треугольной призмы с последующим замораживанием ее для укрепления основания отвала. После формирования льдопородной призмы необходимо ее защитить от оттаивания в летний период. С этой целью над ним располагают породы вскрыши толщиной больше мощности сезонной оттайки. Глубина сезонной оттайки в летний период в районе ведения горных работ составляет 3–3,5 м. Таким образом, мощность закладываемых вскрышных пород должна быть более указанной глубины. Разработанная технология позволяет значительно сократить расстояние транспортирования пород вскрыши в выработанное пространство, а также обеспечивает наиболее полное заполнение выработанного пространства с последующей его рекультивацией и повышает устойчивость отвала на наклонной поверхности.

Экологические последствия разработки месторождений в условиях Арктики, представленные в работах [6–8], показывают катастрофические воздействия на раннюю северную природу, что отрицательно влияет на любую жизнедеятельность в этом регионе. Экологическое влияние горнодобывающей промышленности можно разделить на следующие аспекты: экологические, экономические, социальные и правовые. При этом стадии освоения недр подразделяются на 1) премайнинг, 2) майнинг и 3) постмайнинг. Состояние ландшафта после стадии постмайнинг в основном определяется технологией ведения горных работ. Если карьер работает с внешним отвалообразованием, то остается выработанное пространство карьера и отвалы, а в случае технологии с внутренним отвалообразованием – выработанное пространство, заполненное отвалом, что является наиболее щадящей технологией.

Как правило, сплошные системы разработки с внутренним отвалообразованием применяются при горизонтальном или пологом залегании месторождения с коэффициентом заполняемости выработанного пространства ( $K_3$ ) равным 1, при котором выработанное пространство полностью заполняется вскрышными породами. При этом в основном используются сплошные

и углубочно-сплошные системы разработки с поперечным и продольным размещением фронта горных работ, которые обеспечивают землесберегающий способ разработки месторождения [9–12]. Как показала практика, данная технология значительно повышает эффективность открытой угледобычи и максимально снижает экологическую нагрузку на окружающую среду. Такие технологические схемы используются при проектировании и эксплуатации малых разрезов в условиях криолитозоны. Однако при разработке пологих и наклонных месторождений возникает проблема устойчивости внутренних отвалов и опасность их сползания в выработанное пространство. Практика эксплуатации пологих и наклонных месторождений в зоне многолетней мерзлоты с размещением отвалов на наклонной поверхности показала высокую опасность, связанную с термомеханикой основания отвалов [13, 14]. Таким образом, отвалообразование является не только сложной инженерно-технической проблемой, но и представляет несомненный научный интерес, где устойчивость отвала зависит не только от угла наклона поверхности, но и от высоты создаваемого отвала и состояния многолетней мерзлоты в его основании. Установлено, что, если основание отвала находится в мерзлом состоянии, отвал устойчив.

Рассмотренные технологии при разработке горизонтальных и пологих месторождений в условиях многолетней мерзлоты предусматривают внутреннее отвалообразование с замораживанием ледяной призмы в основании отвала и укреплением его путем закладки перфорированных труб. После намораживания льдопородного отвала необходимой высоты над ним должен быть расположен теплоизоляционный слой, защищающий от оттаивания в летний период. Таким слоем являются породы вскрыши, размещаемые над ним. Мощность этого слоя определяется с учетом теплоизоляционных свойств пород, экспозиции внутреннего отвала и количества льда – цемента. С учетом этих свойств мощность теплоизолирующего слоя может быть больше 4 м. Анализ горно-геологических условий месторождений малых разрезов показал, что у большинства месторождений коэффициент вскрыши составляет меньше 4, что говорит о необходимости применения технологии дополнения (дозагрузки) выработанного пространства льдопородным внутренним отвалом с учетом коэффициента заполняемости.

### Материалы и методы исследования

Для выполнения работы проводились анализ работы предприятия по вскрышным и добычным работам. Определены объемы вскрышных работ в теплое время года с механическим рыхлением бульдозерами и формированием бульдозерного внутреннего отвала в выработанном пространстве карьера. Исследованы выемочно-погрузочные работы нижней части пород вскрыши с применением буровзрывных работ в зимний период и вывозом их автосамосвалами во внутренний отвал. По мощностям угольных пластов и междупластья определена глубина выработанного пространства разреза для размещения пород вскрыши. С учетом кусковатости и крепости мерзлых вскрышных пород определен коэффициент разрыхления для расчета количества вскрышных пород в выработанном пространстве и показателя заполняемости.

В результате анализа горно-геологических условий разработки Харбалахского каменноугольного месторождения установлено, что мощность вскрыши в последующие годы будет расти, следовательно, ее объем также будет расти, вызывая проблему размещения во внутренний отвал. В связи с этим нужна оценка степени заполнения выработанного пространства разреза возрастающим объемом вскрыши.

### Результаты исследования и их обсуждение

Исследования горно-геологических условий Харбалахского каменноугольного месторождения показали, что у разреза коэффициент вскрыши с годами растет, что говорит о необходимости применения технологии последовательной рекультивации путем заполнения выработанного пространства комбинированным бульдозерным и транспорт-

ным внутренним отвалом. На рис. 2 представлен график роста коэффициента вскрыши на разрезе. Данный рост обусловлен изменениями горно-геологических условий, а именно ростом мощности вскрыши.

Как видим из графика, в настоящее время линейный коэффициент вскрыши составляет от 1,5 до 2,3 м/м. При этом, с учетом коэффициента разрыхления ( $K_p$ ), вскрышные породы не полностью заполняют выработанное пространство карьера. Обратимся к [5] и оценим заполняемость выработанного пространства через показатель заполняемости ( $K_z$ ) выработанного пространства, который для разреза составляет около 0,7, то есть для полного заполнения выработанного пространства на 4 м глубины разреза вскрышных пород не хватает. На рис. 3 представлено выработанное пространство разреза, частично заполненное породами вскрыши и представляющее большую чашу. Для заполнения всего этого пространства не хватает объема вскрыши.

Это позволяет проектировать рекреационную рекультивацию карьерного поля, превратив его в водоем. Этому благоприятствует близость р. Амга, отделенной от разреза только предохранительной дамбой. В период весеннего половодья достаточно открыть дамбу, и вода сама попадет в разрез, а после заполнения закрыть. В результате получится водоем глубиной около 4 м. Есть возможность поднимать прибрежную его часть, которую следует выполаживать и озеленять.

По предварительным прогнозам начиная с 2026 г. выработанное пространство начнет полностью заполняться породами вскрыши. Начиная с этого периода целесообразно выполаживание внутреннего отвала и использование в качестве сельскохозяйственного или лесохозяйственного уголья.

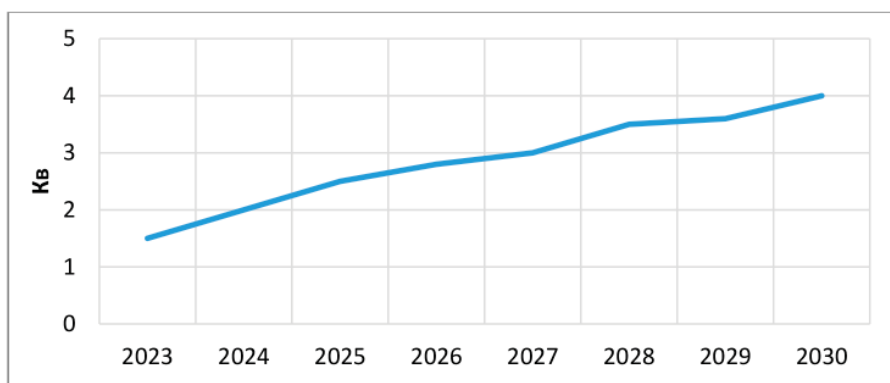


Рис. 2. Рост коэффициента вскрыши по годам



*Рис. 3. Выработанное пространство разреза «Харбалахский», частично заполненное породами вскрыши*

Выполненные работы ряда исследователей и анализ горно-геологических условий Харбалахского разреза позволяют обосновать на ближайшие годы возможность применения рекреационной рекультивации в виде водоема. На последующие годы выработанное пространство будет полностью заполнено вскрышными породами и использоваться для сельскохозяйственных и лесохозяйственных угодий.

При этом формирование внутренних отвалов может осуществляться с частичным заполнением выработанного пространства путем намораживания льда на дне карьера с последующим размещением пород вскрыши на них в качестве теплоизолирующего материала. Намораживание осуществляется в зимний период как методом дождевания, так и послойным наливом насосами из реки. При этом каждый новый слой воды заливается после проморозки предыдущего слоя. Вопрос сохранения ледяной «подушки» в летний период решается размещением на него пород вскрыши достаточной мощности, предотвращающего оттайку пород и льда в теплое время года. Такая мощность вскрыши в зоне расположения разреза составляет 3–3,5 м; если общая глубина разреза после удаления вскрыши и извлечения угля составляет около 14 м, то оттайки нижележащей ледяной «подушки» не произойдет.

Таким образом, объем выработанного пространства разреза для создания водоема составляет 239400 м<sup>3</sup>, из них 1992510 м<sup>3</sup> заполнено породами вскрыши. Остающийся объем для заполнения водой составляет 39890 м<sup>3</sup>. При этом незначительная фильтрация возможна со стороны дамбы, защи-

щающей разрез от р. Амга. По другим берегам водоема фильтрация минимальна, поскольку борта карьера представлены песчаниками, суглинками в многолетнемерзлом состоянии и являются водонепроницаемыми. Отток воды из водоема будет компенсироваться притоком поверхностных вод со стороны внешних отвалов и нагорной части разреза, а также таянием многолетнемерзлых пород, в которых содержание льда составляет 25–37%.

### Выводы

1. Геотехнологические условия и географическое расположение разреза Харбалахский благоприятствуют рекреационной рекультивации путем создания водоема на отработанном карьерном поле, а с учетом дальнейшего развития фронта горных работ, предусматривающего постепенное увеличение коэффициента вскрыши, полное заполнение выработанного пространства вскрышными породами с применением сельскохозяйственной и лесохозяйственной рекультивации.

2. Усложнение горно-геологических условий разреза, проявляющееся в увеличении коэффициента вскрыши, потребовало формирования внутренних отвалов с частичным заполнением выработанного пространства путем послойного намораживания льда на дне карьера с последующим размещением пород вскрыши на них в качестве теплоизолирующего материала. Сооружение ледяной «подушки» позволит заполнить выработанное пространство и применить для оставшейся части разреза сельскохозяйственную и лесохозяйственную рекультивацию.

## Список литературы

1. Zarovnyaev B., Shubin G., Sobakina M. Analysis of disturbed lands and environmentally safe technologies of mining in permafrost // 18-th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM2018. Vol. 18. Exploration and mining. 2 July – 8 July. 2018. Albena. Bulgaria. P. 79–87. DOI: 10.5593/sgem2018/1.3/s03.011.
2. Туласынов Н.А. Экологически безопасные технологии ведения открытых горных работ в условиях многолетней мерзлоты // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 3. С. 120–124.
3. Каплунов Д.П. Проблемы комбинированной геотехнологии при устойчивом, экологически сбалансированном освоении недр // Горный журнал. 2018. № 1. С. 14–17.
4. Zarovnyaev B.N., Shubin G., Sobakina M.P. Justification of environmentally safe technology for the development of fields with an ice-breed internal dump // 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019. Conference Proceedings Vol. 19. Science and Technologies in Geology. Exploration and Mining. Issue: 1.3. P. 363–369. DOI: 10.5593/sgem2019/1.3/S03.046.
5. Zarovnyaev B.N., Shubin G.V., Budikina M.E., Sobakina M.P., Danilov A.A. Formation of an internal dump during exploitation. // 21st International Scientific Multidisciplinary Conference on Earth and Planetary Sciences SGEM 2021. Conference Proceedings Volume. Exploration and Mining. Albena. Bulgaria: 14 August – 22 August 2021. P. 405–412. DOI: 10.5593/SGEM2021/1.1/S03.050.
6. Tolvanen A., Eilu P., Juutinen A., Kangas K., Kivinen M., Markovaara-Koivisto M., Naskali A., Salokannel V., Tuulentie S., Similä J. Mining in the Arctic environment – A review from ecological, socioeconomic and legal perspectives // Journal of Environmental Management. 2019. № 233. P. 832–844. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.11.124.
7. Glotov V.E., Glotova L.P., Chlachula J., Little E. Causes and environmental impact of the gold-tailings dam failure at Karamken, the Russian Far East // Engineering Geology. 2018. T. 245. P. 236–247. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.08.012.
8. Chlachula J., Lugovaya E. Environmental reflections on native peoples' health in the Siberian North based on microelements // 18th International Multidisciplinary Geo-Science Conference SGEM. Sofia. Bulgaria. Session 22. Ecology and Environmental Protection. 2018. P. 371–378. DOI: 10.5593/sgem2018/5.2/S20.050.
9. Курехин Е.В. Технологические схемы отвалообразования вскрышных пород в карьерной выемке смежного участка // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 5. С. 67–82.
10. Ortiz J.P. Methodology for a dump design optimization in large-scale open pit mines. Cogent Engineering. 2017. Vol. 4, Is. 1. DOI:10.1080/23311916.2017.1387955.
11. Hongge Peng, Ding Zhang. Research on Inpit Dumping Height during Tracing Mining Period between Two Adjacent Surface Coal Mines // Advances in Civil Engineering. 2018. Vol. 2018. Article ID 3450584. 8 p. DOI: 10.1155/2018/3450584.
12. Cheskidov V.I., Norri V.K. Stripping with direct dumping in Kuzbass open pit mines: the current state and prospects // Journal of Mining Science. 2017. Vol. 52, Is. 4. P. 725–773.
13. Еремин Г.М. Повышение безопасности и эффективности отвалообразования в условиях нагорных и нагорно-равнинных карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 5. С. 161–167.
14. Заровняев Б.Н., Кузьмин А.А. Льдопородная рекультивация выработанного пространства (на примере Кировского разреза) // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады XXVIII международной науч.-практич. конф. / под общ. ред. В.М. Панарина. Тула: Инновационные технологии. 2021. С. 36–41.

УДК 551.583(075.8)  
DOI 10.17513/use.38253

## ПРОЯВЛЕНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

<sup>1</sup>Исмагилов К.Р., <sup>2</sup>Исмагилов Р.Р., <sup>2</sup>Русаков И.А.

<sup>1</sup>*Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,  
обособленное структурное подразделение Уфимского научно-исследовательского центра  
Российской академии наук, Уфа, e-mail: ismagilovk@mail.ru;*

<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа,  
e-mail: ismagilovr\_bsau@mail.ru*

**Аннотация.** Цель исследования состояла в количественной оценке пространственно-временных изменений основных параметров агроклиматических условий на территории Республики Башкортостан. Проведен анализ временных рядов основных параметров агроклиматических ресурсов (тепло и влага) на территории республики. Для исследования использованы данные среднемесячной температуры и суммы осадков четырех государственных метеостанций, расположенных на разных географических пунктах. Исходя из среднемесячной температуры и осадков определены сумма положительных температур и сумма осадков за вегетационный период растений (май-сентябрь). Установлено, что на территории республики, как и в целом на планете, происходит повышение температуры воздуха и увеличение атмосферных осадков в основном в осенне-зимний период. В расчете на 100 лет произошло наибольшее потепление в марте (на 5,59 °С), и наименьшее – в июне (на 0,62 °С). Потепление климата на территории республики произошло неравномерно. Наиболее сильно повысилась среднегодовая температура воздуха в юго-восточной части и значительно меньше в центральной части республики. Сумма температур за период активной вегетации полевых культур «май-сентябрь» повысилась сравнительно на небольшую величину на всей территории республики. Сумма осадков в целом за год в целом на территории республики повысилась на 72,3 мм, но в разных частях республики – в разной степени. На северо-западе в расчете на 100 лет сумма осадков за год повысилась на 170,0 мм, а в зауральской степи, наоборот, уменьшилась на 28,2 мм. Увеличение количества атмосферных осадков произошло за счет осенне-весеннего периода. Происходит значительное усиление засушливости климата в степной части Зауралья.

**Ключевые слова:** изменение климата, агроклиматические ресурсы, температура, осадки, Башкортостан

*Исследование выполнено в рамках программы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «ПРИОРИТЕТ 2030» (Национальный проект «Наука и университет»).*

## MANIFESTATION OF GLOBAL CHANGE OF AGROCLIMATIC RESOURCES ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

<sup>1</sup>Ismagilov K.R., <sup>2</sup>Ismagilov R.R., <sup>2</sup>Rusakov I.A.

<sup>1</sup>*Bashkir Scientific Research Institute of Agriculture, Ufa Research Center  
of the Russian Academy of Sciences, Ufa, e-mail: ismagilovk@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, e-mail: ismagilovr\_bsau@mail.ru*

**Annotation.** The purpose of the study was to quantify the spatial-temporal changes in the main parameters of agroclimatic conditions in the Republic of Bashkortostan. An analysis of the time series of the main parameters of agroclimatic resources (heat and moisture) on the territory of the republic is carried out. For the study, data on the average monthly temperature and the amount of precipitation from four state weather stations located in different geographical locations were used. Based on the average monthly temperature and precipitation, the sum of positive temperatures and the sum of precipitation for the vegetation period of plants (May-September) were determined. It has been established that on the territory of the republic, as well as on the planet as a whole, there is an increase in air temperature and an increase in atmospheric precipitation mainly in the autumn-winter period. Over 100 years, the highest warming occurred in March (by 5.59 °C), and the least in June (by 0.62 °C). The warming of the climate on the territory of the republic was uneven. The average annual air temperature has increased most strongly in the south-eastern part and much less in the central part of the republic. The sum of temperatures during the period of active vegetation of field crops “May-September” increased by a relatively small amount throughout the country. The total amount of precipitation for the year as a whole in the territory of the republic increased by 72.3 mm, but in different parts of the republic to different degrees. In the north-west, the amount of precipitation per 100 years increased by 170.0 mm, and in the Trans-Ural steppe, on the contrary, it decreased by 28.2 mm. There is a significant increase in the aridity of the climate in the steppe part of the Trans-Urals.

**Keywords:** climate change, agroclimatic resources, temperature, precipitation, Bashkortostan

*The research was carried out within the framework of the program of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation “PRIORITY 2030” (National project “Science and University”).*

Изменение климата стало одной из наиболее важных проблем, с которыми человечество сталкивается в наше время. За 140 лет температура повысилась на 1 °С. Глобальное потепление вызвано повышением концентрации парниковых газов в результате интенсивного развития промышленности, транспорта, сельского хозяйства и других отраслей экономики. Парниковые газы задерживают инфракрасный спектр солнечной радиации у поверхности планеты, в результате чего происходит ее нагревание [1]. В различных частях земного шара температура меняется по-разному. На территории России среднегодовая температура растёт быстрее в 2,5-2,8 раза, чем в среднем на планете. Наиболее быстро «нагревается» территория Крайнего Севера, в частности полуостров Таймыр [2]. За 110-летний период температура в Среднем Заволжье повысилась на 1,787 °С (с 3,858 до 5,645 °С), что в 1,6 раза выше, чем в целом по Северному полушарию [3].

Изменение температуры также неравномерно в разные месяцы года. Так, в Беларуси установлено смещение максимального роста температуры в текущем столетии на вторую половину года, и особенно на июль-сентябрь, то есть потепление в последнее двадцатилетие приобретает черты летнего потепления [4]. В Среднем Заволжье повышение температуры происходило в 10 из 12 месяцев (январь-май, август-декабрь), но главным образом за счёт потепления климата во вневегетационный период. Наибольший прирост установлен в зимние месяцы – на 2,976 °С (с 12,70 °С до 9,73 °С), что в 1,67 раза больше, чем в целом за сельскохозяйственный год [3].

В последние 15-20 лет увеличиваются осадки на большей части территории страны, и особенно в ее северо-восточной части; на юго-западе отмечалось уменьшение количества осадков. В целом отмечаются незначительные изменения количества выпадающих осадков за период современного потепления [4]. В отличие от изменений температуры воздуха, тенденция роста количества осадков была незначительной в Среднем Заволжье – с 414,32 до 454,90 мм, на 40,58 мм (9,8%). Увеличение осадков произошло за счёт зимнего периода [3].

Повышение температуры воздуха зимой, уменьшение зимних осадков и частые оттепели повлекли за собой уменьшение снежного покрова. Повсеместно повысилась повторяемость аномально теплых зим [5]. В связи с повышением температуры

воздуха и снижением количества осадков, в последние 22 года наблюдений, выявлено усиление засушливости климата [3].

Изменение климата влияет на все отрасли экономики, но особенно на состояние сельского хозяйства, и особенно растениеводства [6; 7]. Так, в Самарской области на долю климатического фактора в формировании урожайности зерна приходится до 60% [8]. Одним из наиболее значимых факторов влияния изменения климата на растениеводство является изменение сезонности и интенсивности осадков. Недостаток или избыток осадков может серьезно повлиять на урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур. В связи с увеличением теплообеспеченности и засушливости территории может возрасти численность опасных вредителей, снижаться урожайность сельскохозяйственных культур [9]. Выявлен положительный тренд увеличения продолжительности вегетационных периодов в XX в. в Пермском крае. В последние десятилетия увеличение продолжительности периода вегетации происходит наиболее интенсивно [10]. В то же время в северных странах, в первую очередь в России и Канаде, расширится зона, благоприятная для сельского хозяйства и жизни людей. По одному из прогнозов, в результате глобального потепления к 2080 году прирост земель, пригодных для сельского хозяйства, составит 4,2 млн км<sup>2</sup> (в настоящее время – 3,8 млн км<sup>2</sup> сельскохозяйственной земли) [11]. Положительные тренды изменения температуры воздуха и осадков мая-июня свидетельствуют об улучшении условий возделывания в Пермском крае яровых зерновых культур [10]. Также из-за снижения вероятности заморозков и увеличения влажности атмосферы земли за счёт увеличенного испарения потепления океана снизятся риски неурожая. Однако в целом положительные эффекты глобального потепления далеко не компенсируют его негативных последствий.

Важно заранее предвидеть тенденции изменения климата, исследовать и прогнозировать отклик агросферы на них, разработать эффективные пути ее адаптации к новым условиям, независимо от конкретных причин, обуславливающих эти изменения [12; 13].

Цель исследования состояла в количественной оценке пространственно-временных изменений основных параметров агроклиматических условий на территории Республики Башкортостан.

**Материал и методы исследования**

Проведен анализ временных рядов основных параметров агроклиматических ресурсов (тепло и влага) на территории Республики Башкортостан, расположенной на западных склонах Южного Урала и в Предуралье. Климат умеренно континентальный с холодной продолжительной зимой и тёплым летом со средним увлажнением. Для исследования нами использованы данные среднемесячной температуры и суммы осадков четырех государственных метеостанций, расположенных на разных географических пунктах Республики Башкортостан: Акъяр (широта 51.87, долгота 58.18, высота над уровнем моря 341 м); Уфа (широта 54.71, долгота 55.83, высота над уровнем моря 104 м); Дуван (широта 55.70, долгота 57.90, высота над уровнем моря 338 м); Янаул (широта 56.27, долгота 54.90, высота над уровнем моря 102 м) [14]. Исходя из среднемесячной температуры и осадков определены сумма положительных температур и сумма осадков за вегетационный период растений (май-сентябрь). Гидротермический коэффициент ГТК рассчитан по Селянинову. Статистический анализ проведен с использованием компьютерной программы Excel.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Одним из важнейших агроклиматических ресурсов является температурный режим. Исследования показали наличие тенденции повышения средней температуры воздуха на территории Республики Башкортостан (ГМС Уфа). Результаты анализа вре-

менных рядов показывают, что за 136 лет (1888-2023 годы) средняя годовая температура воздуха повысилась с 2,18 до 4,11 °С, то есть на 1,93 °С. Особенно ускоренное повышение произошло в последние 50-60 лет. С 1936 по 2023 г. температура повысилась на 2,80 °С, что, вероятно, связано с интенсивным использованием углеводородного топлива в промышленности и транспорте. Как известно, основным фактором потепления климата является повышение концентрации парниковых газов [15]. Повышение среднегодовой температуры воздуха в основном произошло в результате повышения ее в осенне-весенний период (рис. 1). По средним данным, в целом на территории республики в расчете на 100 лет произошло наибольшее потепление в марте на 5,59 °С, в то же время в июне – на 0,62 °С. Небольшое исключение в степной части Зауралья (Акъяр), где повышение температуры наблюдается и в августе.

Потепление климата произошло на всей территории республики, но неравномерно. Наибольшее повышение среднегодовой температуры воздуха в расчете на 100 лет (на 3,26 °С) произошло в степной части Зауралья (Акъяр), а минимальное (2,48 °С) – в центральной части республики (Уфа). На северо-востоке (Дуван) температура повысилась на 2,94 °С и на северо-западе (Янаул) – на 2,51 °С. На рисунке 2 представлены тренды изменения температуры воздуха в 1936-2023 годах в разных географических пунктах республики. Из данного рисунка наглядно видно ускоренное повышение температуры воздуха в пункте Акъяр и сравнительно медленное – в пункте Уфа.

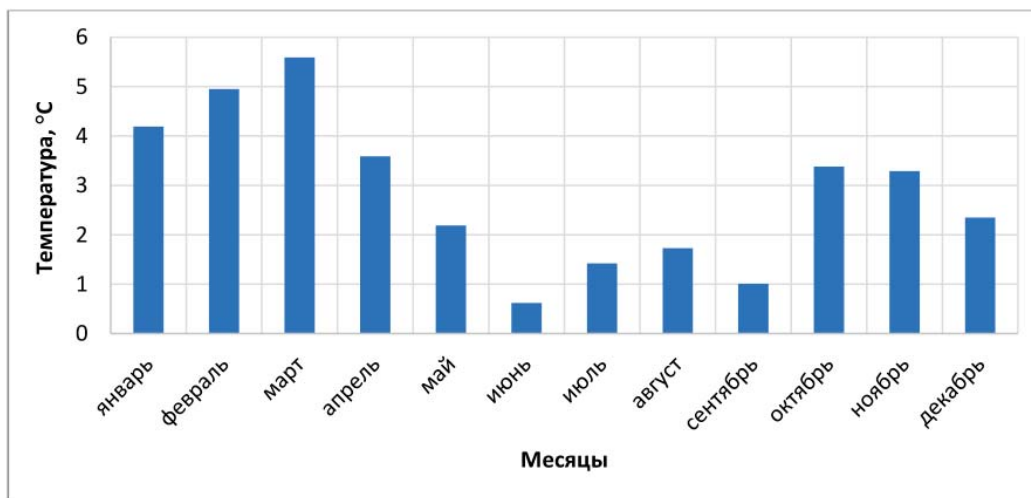


Рис. 1. Изменение температуры воздуха по месяцам в расчете на 100 лет на территории Республики Башкортостан

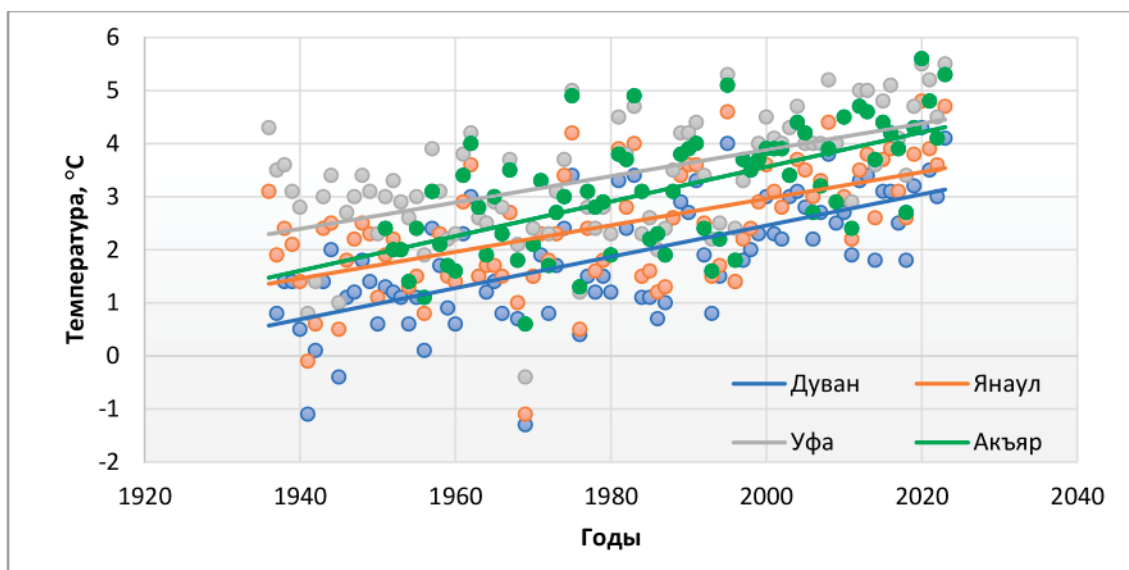


Рис. 2. Динамика среднегодовой температуры воздуха в разных географических пунктах Республики Башкортостан за 1936-2023 годы

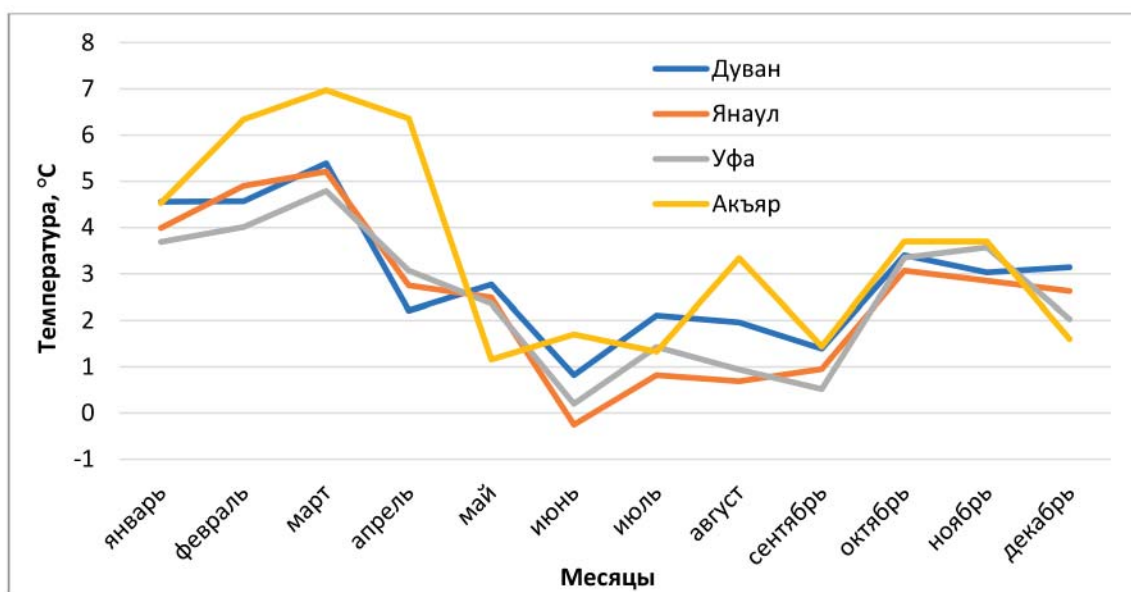


Рис. 3. Изменение температуры воздуха по месяцам в разных географических пунктах Республики Башкортостан

Значительное повышение температуры происходило в осенне-весенний период на всех частях республики (рис. 3). Так, в марте температура в расчете на 100 лет повысилась в пункте Уфа на  $4,79^{\circ}\text{C}$ , в пункте Янаул – на  $5,21^{\circ}\text{C}$ , в пункте Дуван – на  $5,39^{\circ}\text{C}$  и в пункте Акъяр –  $6,97^{\circ}\text{C}$ . Минимальное изменение температуры наблюдалась в июне, в Янауле произошло даже снижение температуры на  $0,25^{\circ}\text{C}$ . В пункте Уфа температура повысилась в июне на  $0,20^{\circ}\text{C}$ ,

в пункте Дуван – на  $0,82^{\circ}\text{C}$  и в пункте Акъяр – на  $1,16^{\circ}\text{C}$ . Следует отметить, что наблюдается более сильное повышение температуры в августе в степной части (Акъяр) в отличие от остальной части республики (рис. 3).

Для растениеводства информативным показателем является сумма температур в период вегетации растений. Как показывают исследования, сумма температур за период активной вегетации полевых культур



«май-сентябрь» повысилась сравнительно на небольшую величину и в разных пунктах республики практически одинакова. Так, сумма температур в северной части республики (Дуван) повысилась за 87 лет (1936-2023 гг.) с 65,42 до 73,21 °С, или в расчете на 100 лет – на 9,05 °С, в степной части Зауралья (Акъяр) за 73 года (1951-2023 гг.) с 79,35 до 85,73 °С, или в расчете на 100 лет – на 8,97 °С.

Важным агроклиматическим ресурсом является влага, которая в богарном зем-

леделии в основном зависит от атмосферных осадков. Количество и распределение осадков в течение года оказывают влияние на влагообеспеченность почвы, доступность воды для растений и формирование урожая, а недостаток осадков может привести к засухе и снижению урожайности. Исследования показали, что сумма осадков в целом за год на территории республики повысилась на 72,3 мм. Изменение суммы осадков в разных частях республики произошло в разной степени (рис. 4).

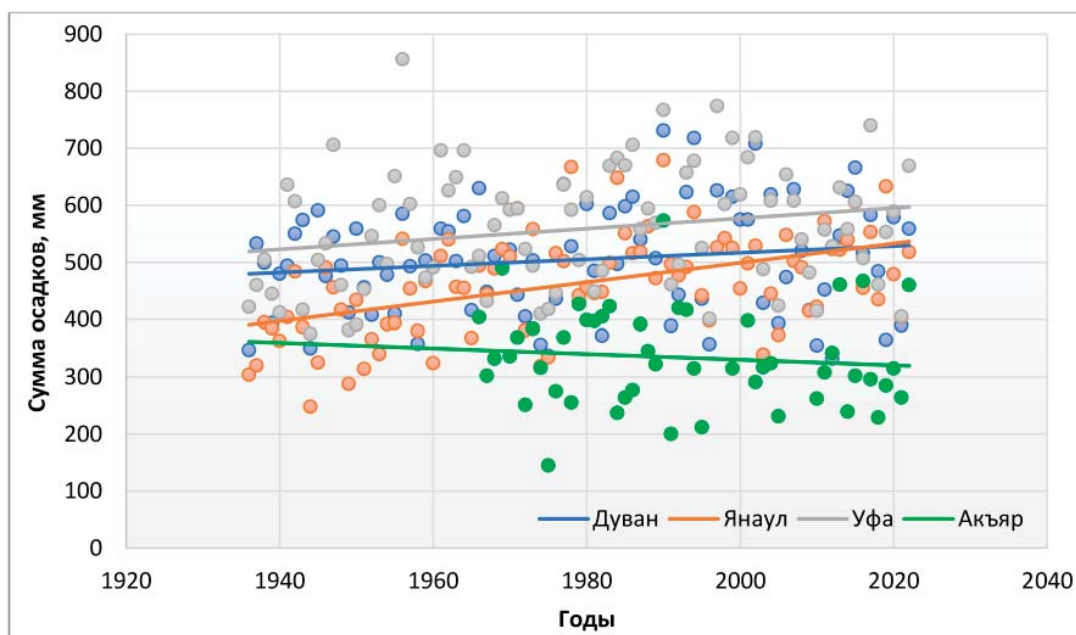


Рис. 4. Динамика суммы осадков за год в разных географических пунктах Республики Башкортостан за 1936-2023 годы

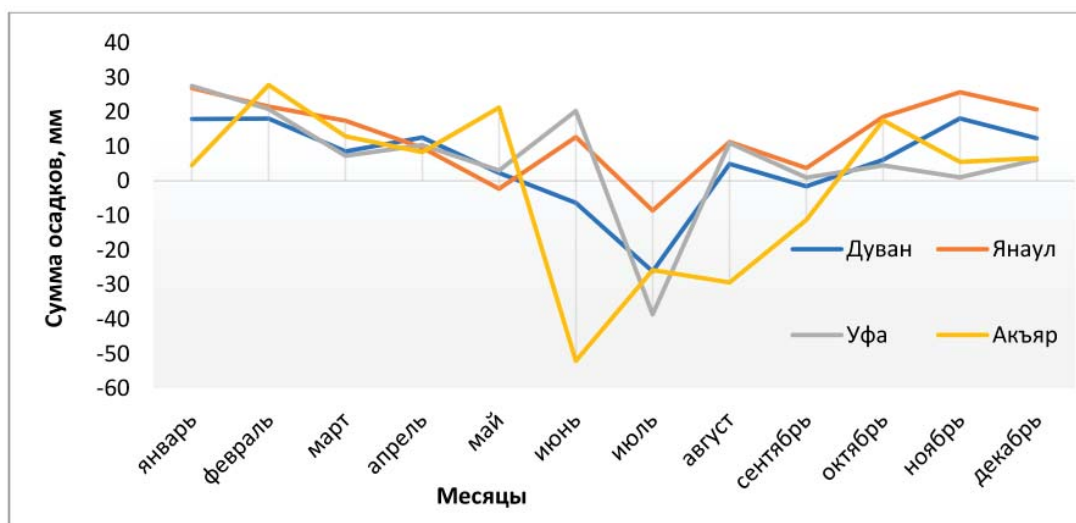


Рис. 5. Изменение суммы осадков по месяцам в разных географических пунктах Республики Башкортостан

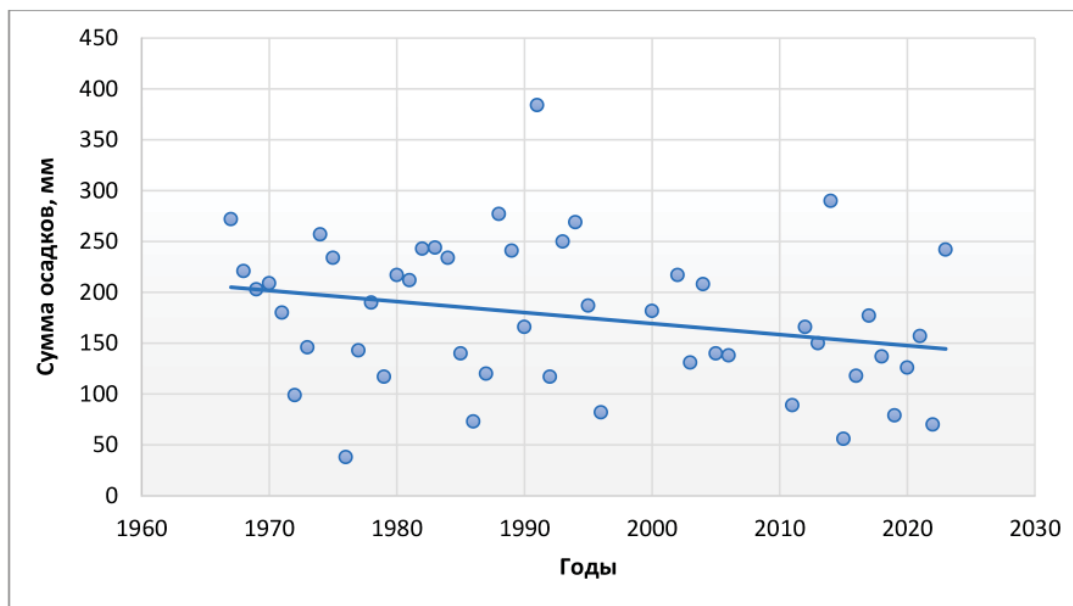


Рис. 6. Динамика суммы осадков в вегетационный период в пункте Акъяр

Если на северо-западе (Янаул) в расчете на 100 лет сумма осадков повысилась на 170,0 мм, то в зауральской степи (Акъяр), наоборот, уменьшилась на 28,2 мм. На северо-востоке (Дуван) сумма осадков повысилась на 57,0 мм, а в центральной части (Уфа) республики – на 90,5 мм.

Количество атмосферных осадков изменялось по месяцам года разнонаправленно и в разной степени. Если в летние месяцы сумма осадков уменьшилась, особенно в зауральской степи республики, то в остальные времена года повышалась (рис. 5). Так, в феврале сумма осадков в расчете на 100 лет в Акъяре увеличилась на 27,72 мм, в Янауле – на 21,49 мм, в Уфе – на 20,74 мм, в Дуване – на 18,0 мм. В июле в Акъяре уменьшилась на 25,80 мм, в Янауле – на 8,60 мм, в Уфе – на 38,64 мм и в Дуване – на 26,20 мм. Значительное уменьшение осадков в июне (52,10 мм) наблюдается, в отличие от других пунктов, в Акъяре.

Сумма осадков за вегетационный период значительно уменьшилась (на 56,70 мм) в зауральской степи (Акъяр) и на северо-востоке (Дуван) республики (на 32,8 мм). На северо-западе (Янаул) увеличилась на 16,8 мм, а в центральной части (Уфа) республики практически не изменилась (–3,5 мм). Расчет гидротермического коэффициента по параметрам временного тренда температуры воздуха и суммы осадков показывает значительное усиление засушливости климата в степной

части Зауралья. Если гидротермический коэффициент в пункте Акъяр в 1966 году составил 0,83, то в 2023 г. он уменьшился до 0,56. Согласно общепринятой классификации по гидротермическому коэффициенту, зауральская степь от зоны засушливого (0,7-1,0) перешла в зону сухого земледелия (0,5-07).

### Заключение

На территории Республики Башкортостан, как в целом на планете, происходит повышение температуры воздуха и увеличение атмосферных осадков, особенно в последние 50-60 лет. С 1936 по 2023 г. температура, по средним данным четырех гидрометеостанций, повысилась на 2,80 °С. Повышение среднегодовой температуры воздуха в основном произошло в результате повышения ее в осенне-зимний период. Потепление климата на территории республики произошло неравномерно. Наиболее сильно повысилась среднегодовая температура воздуха в юго-восточной части и значительно меньше в центральной части республики. Сумма температур за период активной вегетации полевых культур «май-сентябрь» повысилась сравнительно на небольшую величину на всей территории республики.

Сумма осадков в целом за год на территории республики повысилась, но в разных частях республики в разной степени. На северо-западе сумма осадков за год в расчете на 100 лет повысилась на 170,0 мм,

а в зауральской степи, наоборот, уменьшилась на 28,2 мм. Увеличение количества атмосферных осадков произошло за счет осенне-весеннего периода. В летний период сумма осадков уменьшалась, особенно в зауральской степи республики. Значительно усилилась засушливость климата в степной части.

### Список литературы

1. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации Общее резюме. СПб.: Научное издание, 2022. 124 с.
2. Бардин М.Ю., Егоров В.И., Громов С.А., Козлова С.А., Платова Т.В., Ранькова Э.Я., Самохина О.Ф., Алексеев Г.В., Александров Е.И., Иванов Н.Е., Радионов В.Ф., Смоляницкий В.М., Дементьева Т.В., Давлетшин С.Г., Коршунова Н.Н., Клещенко Л.К., Лавров А.С., Стерин А.М., Хохлова А.В., Шерстюков А.Б. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. М.: Государственный гидрологический институт Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Российской Федерации, 2021. 104 с.
3. Горянин О.И. Тенденции изменения климата в Поволжье и их влияние на окружающую среду // Экологические проблемы бассейнов крупных рек : Материалы международной конференции, приуроченной к 35-летию Института экологии Волжского бассейна РАН и 65-летию Куйбышевской биостанции, Тольятти, 15–19 октября 2018 года / Отв. ред.: Г.С. Розенберг, С.В. Саксонов. Тольятти: Анна, 2018. С. 85-87. DOI: 10.24411/9999-002А-2018-10030.
4. Логинов В.Ф. Современные изменения климата Беларуси // Фундаментальная и прикладная климатология. 2022. Т. 8, № 1. С. 51-74. DOI: 10.21513/2410-8758-2022-1-51-74.
5. Поварницына А.В., Савин М.И. Влияние изменения климата на мировое сельское хозяйство // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 84-1. С. 152-157. DOI: 10.18411/trnio-04-2022-39.
6. Исмагилов К.Р. Оценка агроклиматических условий возделывания кукурузы на территории Республики Башкортостан // Пермский аграрный вестник. 2020. № 2(30). С. 39-46. DOI: 10.24411/2307-2873-2020-10020.
7. Тарасова О.С. К вопросу адаптации отраслей народного хозяйства к климатическим изменениям // Успехи современного естествознания. 2023. № 10. С. 64-70. DOI: 10.17513/use.38115.
8. Маркин Б.К. Влияние природных условий и факторов интенсификации на формирование урожайности зерновых культур в Поволжье // Зерновое хозяйство. 2004. № 1. С. 2-4.
9. Лемешко Н.А., Николаев М.В, Усков И.Б. Адаптация земледелия к изменению климата. СПб.: ЛЕМА, 2009. 32 с.
10. Шкляев В.А. Долговременные изменения характеристик вегетационных периодов в Предуралье в связи с изменениями климата // Метеорология и гидрология. 2023. № 10. С. 47-56. DOI: 10.52002/0130-2906-2023-10-47-56.
11. Hannah L., Roehrdanz P.R., Donatti C.I., Krishna Bahadur K.C., Berg A., Fraser E.D.G., Saenz L., Wright T.M., Hijmans R.J., Mulligan M., van Soesbergen A. The environmental consequences of climate-driven agricultural frontiers // PLoS ONE. 2020. Vol. 15. No. 2. P. e0228305. DOI: 10.1371/journal.pone.0228305.
12. Булавинова М.П. Концептуальные подходы в исследованиях адаптации к изменениям климата // Научно-технические исследования. 2023. № 2. С. 132-154. DOI: 10.31249/scis/2023.02.08.
13. Ашабоков Б.А., Ашабокова М.Б., Темирханова Х.М. Задачи плана адаптации АПК к изменению климата: информационное обеспечение и методы решения // Успехи современного естествознания. 2022. № 9. С. 99-107. DOI: 10.17513/use.37899.
14. Температура воздуха и осадки по месяцам и годам [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php?ysclid=lnh83iq7fh19> (дата обращения: 05.02.2024).
15. Глаголев М.В., Сабреков А.Ф. Углеродный баланс России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2014. Т. 5, № 2. С. 50-70.

УДК 622.7.09:622.343  
DOI 10.17513/use.38254

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА И СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ ПОРФИРОВЫХ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД

<sup>1</sup>Яковлева Т.А., <sup>1</sup>Ромашев А.О., <sup>2</sup>Машевский Г.Н.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург,  
e-mail: iakovvleva@gmail.com, romashevao@yandex.ru;

<sup>2</sup>Группа компаний «НОВОМЭК», Санкт-Петербург, e-mail: gennadii.mashevskii@novomek.ru

**Аннотация.** Развитие измерительной техники и статистическая обработка полученных результатов играют важную роль в процессе флотационного обогащения. Использование современных технологий, таких как ионометрия и нейросетевое моделирование, позволяет проводить более точный анализ данных и предсказывать поведение руды при флотации. Использование единого типового подхода к изучению обогащаемости порфировых медно-молибденовых руд с помощью этих методов помогает установить более точные связи между параметрами руды, процессом флотации и получаемыми результатами обогащения. Экспериментальные исследования проводились на лабораторной базе Научного центра проблем переработки минерального сырья Горного университета. В данной работе производился анализ сменных данных с помощью метода обработки статистических данных и выявление негативных факторов, влияющих на флотационный процесс, а также предложены пути устранения выявленных проблем. Данный подход позволяет более глубоко изучить процессы, происходящие внутри системы флотации, выявить взаимосвязи и оптимизировать параметры процесса для достижения наилучших результатов. Это может привести к сокращению времени и затрат на обогащение и повышению эффективности процесса. Таким образом, применение современных методов и технологий в измерительной технике и математико-статистическом анализе данных является важным направлением научного прогресса в области флотации и обогащения руд, включая порфировые медно-молибденовые руды.

**Ключевые слова:** флотация, коллективный сульфидный концентрат, порфировая медно-молибденовая руда, ионометрия, нейросетевое моделирование, цифровые технологии

## DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL APPROACH AND METHODS FOR REGULATING THE FLOTATION PROCESS OF PORPHYRY COPPER-MOLYBDENUM ORES

<sup>1</sup>Yakovleva T.A., <sup>1</sup>Romashev A.O., <sup>2</sup>Mashevskiy G.N.

<sup>1</sup>Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg,  
e-mail: iakovvleva@gmail.com, romashevao@yandex.ru;

<sup>2</sup>NOVOMEK Group of Companies, Saint Petersburg, e-mail: gennadii.mashevskii@novomek.ru

**Annotation.** The development of measuring technology and statistical processing of the obtained results plays an important role in the process of flotation enrichment. The use of modern technologies, such as ionometry and neural network modeling, allows for more accurate data analysis and predicting the behavior of ore during flotation. The use of a single standard approach to the study of the enrichment of porphyry copper-molybdenum ores using these methods helps to establish more accurate relationships between ore parameters, the flotation process and the obtained enrichment results. Experimental studies were conducted at the laboratory base of the Scientific Center "Problems of processing mineral raw materials" of the University of Mines. In this work, the analysis of removable data was carried out using the statistical data processing method and the identification of negative factors affecting the flotation process, as well as ways to eliminate the identified problems. This approach allows for a deeper study of the processes occurring inside the flotation system, to identify relationships and optimize process parameters to achieve the best results. This can lead to a reduction in the time and cost of enrichment and increase the efficiency of the process. Thus, the application of modern methods and technologies in measuring technology and mathematical and statistical data analysis is an important area of scientific progress in the field of flotation and ore enrichment, including porphyry copper-molybdenum ores.

**Keywords:** flotation, collective sulfide concentrate, porphyry copper-molybdenum ore, ionometry, neural network modeling, digital technologies

С развитием измерительной техники стало возможным более точное контролирование и управление различными параметрами данного процесса. Применение цифровых технологий также способствует автоматизации процессов и улучшению контроля производства, что в свою очередь способствует

достижению устойчивого развития горно-обогатительной отрасли [1; 2, с. 158].

На текущий момент дозировка расхода реагентов в процессе флотации обычно определяется на основе проведения ряда постановочных опытов, где изменяется дозировка реагентов и изучается их влияние

на процесс. Часто эти опыты проводятся с использованием дискретных значений дозировки реагентов в граммах на тонну материала [3, 4]. Однако стандартный подход к определению дозировки реагентов может быть недостаточно точным для достижения оптимальных технологических показателей. Вместо этого использование современных математических и статистических методов, а также анализ результатов других исследований и данных может помочь в определении наилучших технологических решений для конкретных условий и типов руд [5].

Преимущество прямой потенциометрии заключается в ее способности измерять концентрацию и реакционные потенциалы различных ионов, что позволяет более точно определить активность реагентов и контролировать процесс флотации. Данный способ дозировки реагентов является полезным инструментом для получения информации о текущих параметрах и проведения более достоверных измерений в разных областях науки и промышленности [6].

Добыча и переработка сульфидных медных руд ведется на многих месторождениях как в России, так и за рубежом. В основном все схемы переработки включают в себя получение черного концентрата и в дальнейшем операции перечистки. Выделение медной головки в готовый концентрат в основном происходит на рудном сырье с высоким содержанием меди в исходном сырье. Поэтому упрощение схем переработки является приоритетным направлением в научных исследованиях [7, 8].

Бутиловый ксантогенат является одним из наиболее распространенных собирателей для обогащения медных минералов флотацией, так как реагент имеет хорошие собирательные свойства. Также в связке с ним может использоваться аэрофлот. Важно отметить, что выбор собирателя зависит от конкретной руды и требований процесса обогащения [9–11].

Например, на Томинской фабрике используют Aeorphine 3418 при расходе 10–20 г/т; на Михеевской фабрике расход бутилового ксантогената и аэрофлота составляет 5–80 г/т и 5–40 г/т соответственно [12].

Использование различных реагентов для регулирования уровня pH позволяет создавать оптимальные условия для обогащения руд. Например, добавление извести (CaO) помогает повысить pH и снизить кислотность пульпы, что часто требуется для собирания медных минералов.

Также к характерным факторам для флотации медно-молибденовых порфировых руд относятся:

- наличие в пульпе катионов  $\text{Cu}^{2+}$ , вызывающих взаимную активацию поверхности сульфидных минералов и нарушающих селективность процесса [13, 14];

- развитие процессов формирования гидроксоокисных соединений  $\text{Fe}(\text{OH})^+$ , комплексообразующих ксантогенат  $[\text{Fe}(\text{OH})\text{BtX}] \text{BtX}^-$ .

Дополнительно на примере руд Томинского месторождения проявлен фактор содержания в руде соединений типа  $\text{FeSO}_4$  и  $\text{FeCO}_3$ , которые обуславливают развитие в пульпе высокого отрицательного электрохимического потенциала пульпы, затрудняющего сорбцию собирателя на поверхности минералов.

В связи с вышеизложенным разработка методического подхода и новых способов регулирования процесса флотации порфировых медно-молибденовых руд является актуальной задачей. Это позволит оптимизировать процесс обогащения и достичь более высокой селективности, извлечения и качества конечного продукта. Активные исследования и разработки в этой области будут способствовать развитию более эффективных и экономически выгодных методов обогащения порфировых медно-молибденовых руд.

Целью данного исследования являлся анализ данных сменных массивов работы предприятия с помощью математического анализа программного пакета Statistica 13.5, предполагалось выявить, какие именно негативные факторы влияют на процесс флотационного обогащения. Также после выявления данных факторов будут проводиться исследования для разработки решений, позволяющих улучшить технологические показатели обогащения.

#### Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлась проба медно-молибденовой порфировой руды. Содержание Cu, Fe, S в исходной пробе составляет 1,09; 3,69 и 1,42% соответственно. Из результатов рационального анализа можно сделать вывод о том, что основная масса меди концентрируется в сульфидных минералах: 92,6% относительных (далее отн.) в первичных сульфидах; 6,4% отн. во вторичных сульфидах. Углерод в пробе преимущественно карбонатный (75,9% отн.), на органический углерод приходится 24,1% отн.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторной базе Научного центра проблем переработки минерального сырья Горного университета. Анализ исходных проб и продуктов обогащения проводился с использованием рентгенофлуоресцентного спектрометра EDX-7000, фирмы Shimadzu (Япония). Исследования кинетики измельчения проводились на лабораторной мельнице МШЛ-1. Содержание твердого составляло 50%. Степень заполнения шарами составляла 40%. Флотационные исследования проводились на пневмомеханических флотомашинках НПК «Механобр-техника» (Россия), флотационной пневмомеханической машине Laarmann (Нидерланды). Исследования, направленные на изучение электрохимических свойств доминантной пробы руды и оборотной воды, проводились с применением мультисканальной системы электрохимического контроля EMF-16, которая позволяет фиксировать в режиме онлайн, с дискретностью около 1 с (зависит от количества используемых подключаемых электродов), до 16 каналов состояния процесса, измеряемых с помощью указанных окислительно-восстановительных и ионоселективных сенсоров (электродов).

Оценка эффективности обогащения производилась по критерию Ханкока – Луйкена:

$$E = \frac{\varepsilon_k - \gamma_k}{100 - \beta_{исх}} \times 100,$$

где  $E$  – эффективность обогащения, %;

$\varepsilon_k$  – извлечение меди в концентрат, %;

$\gamma_k$  – выход медного концентрата, %;

$\beta_{исх}$  – содержание меди в исходном материале, %.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В данной статье был проанализирован полугодовой период работы предприятия (январь – июнь). Технологическая схема включает следующие операции: измельчение до 65 % класса -0,071 мм; операция получения кондиционного медного концентрата (далее Си головка), далее отвальный продукт направляется в рудный цикл, который состоит из операций двух основных флотаций, концентраты которых объединяются и направляются на три перерешетки; на хвостах первой перерешетки проводится операция промпродуктовой флотации, концентрат которой возвращается в операцию

рудного цикла в качестве циркуляционного продукта (рис. 1).

На рис. 2 представлены изменения извлечения меди за трехмесячный период наблюдений.

Исходя из полученных данных (рис. 2) наблюдаются значительные колебания извлечения меди в медный концентрат. Данный показатель может варьироваться в пределах 7 %: от 88,2 до 95,5 % в зависимости от периода наблюдений. Для дальнейшей оценки работы фабрики был взят период за 16 ч (рис. 3, а).

Наблюдаемая кривая извлечения меди хорошо описывается косинусоидой:  $\varepsilon = \cos(1,31t + 1,05)$  с периодом  $T = 3$  ч и амплитудой в 5,6 % извлечения меди. Выявленный период колебаний может быть обусловлен ручным управлением режимом флотации со стороны оператора. Кроме отмеченной косинусоиды (рис. 3, б) выявляется вторая гармоническая составляющая случайной функции, описываемая косинусоидой  $\varepsilon = \cos(1,295t + 0,97)$  с периодом  $T = 6$  ч и амплитудой в 8 % извлечения меди. Появление данных скачков можно объяснить тем, что в рудный цикл флотации поступают циркуляционные продукты. Стоит отметить, что полученные данные амплитудных характеристик остаются постоянными на каждом участке рассматриваемого полугодового периода. Данные колебания могут быть нивелированы с помощью следующих действий: автоматические регулирования дозировки реагентов и изменение точки возврата циркулирующих потоков.

В табл. 1 представлены результаты замкнутого опыта по фабричной схеме (рис. 1). В результате данного опыта был получен кондиционный концентрат с содержанием и извлечением меди 21,75 и 92,39% соответственно.

Для поиска возможных путей устранения выявленных выше негативных факторов были изучены электрохимические параметры исходной пробы минерального сырья и произведен поиск решений по улучшению технологических показателей получаемого товарного концентрата. Для этого были поставлены открытые опыты для анализа получаемого черного концентрата, который в дальнейшем идет на операции перерешетки, с целью получения максимального извлечения полезного компонента в черновой концентрат. В табл. 2 представлены результаты открытых опытов.

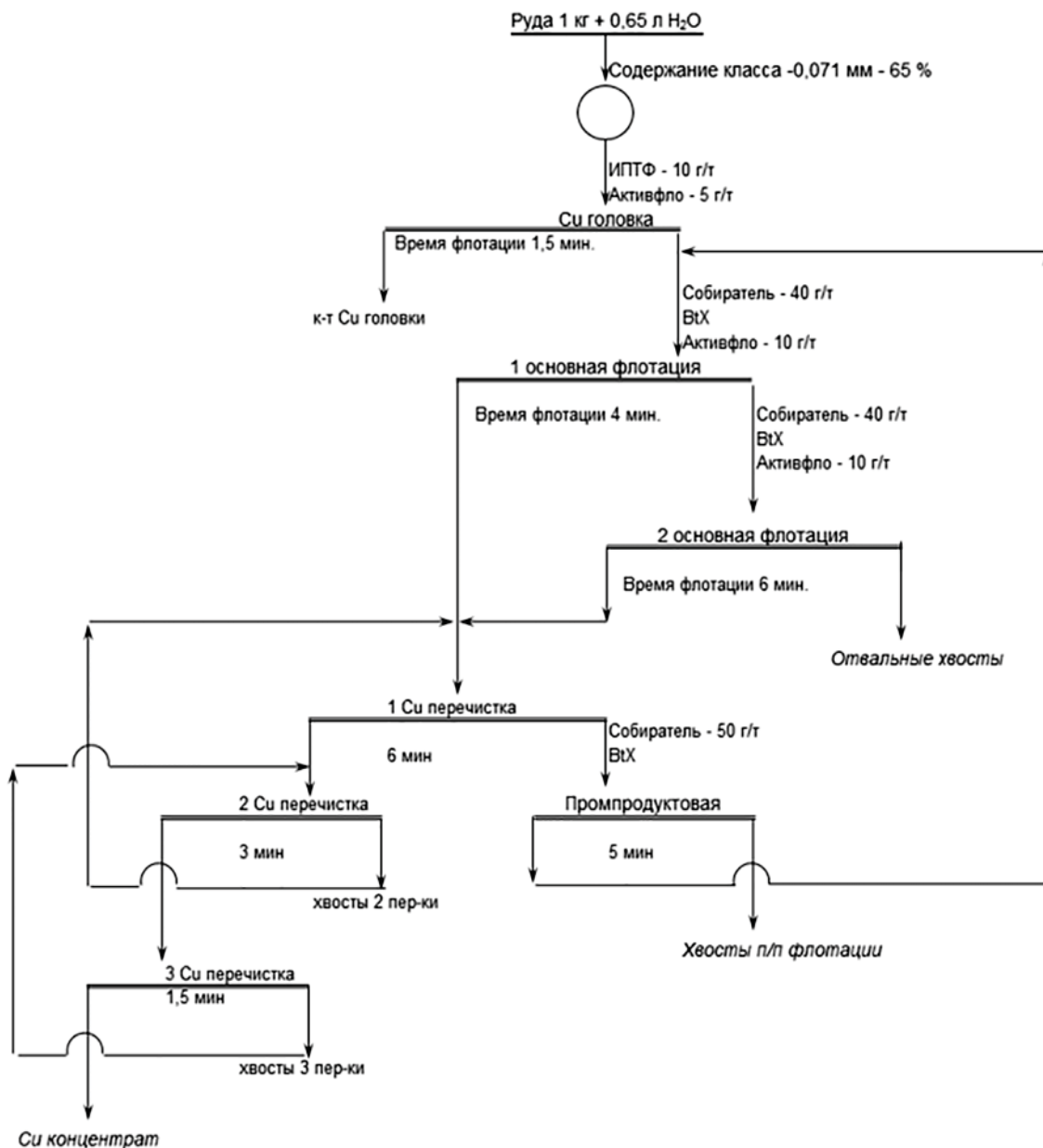


Рис. 1. Схема переработки на предприятии

Таблица 1

Результаты замкнутого опыта по фабричной схеме

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %		
		Cu	Fe	S	Cu	Fe	S
Cu головка	2,35	20,35	28,01	26,33	43,87	18,49	47,24
Cu концентрат	2,28	23,20	32,60	25,69	48,52	20,88	44,71
Cu головка + Cu концентрат	4,63	21,75	30,27	26,02	92,39	39,37	91,95
Отвальные хвосты	95,37	0,09	2,26	0,11	7,61	60,63	8,05
Руда	100	1,09	3,56	1,31	100	100	100

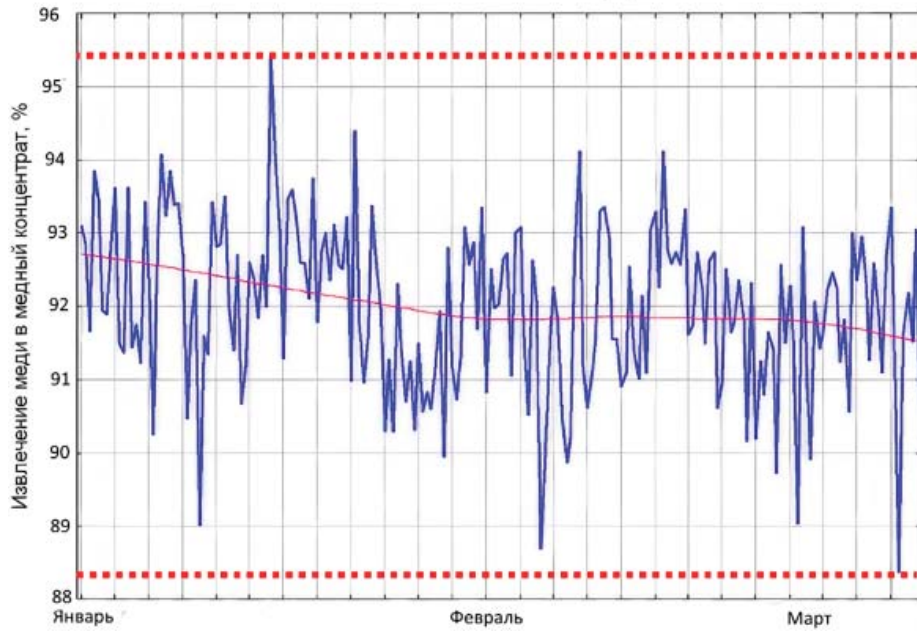


Рис. 2. Изменения извлечения меди за трехмесячный период наблюдений

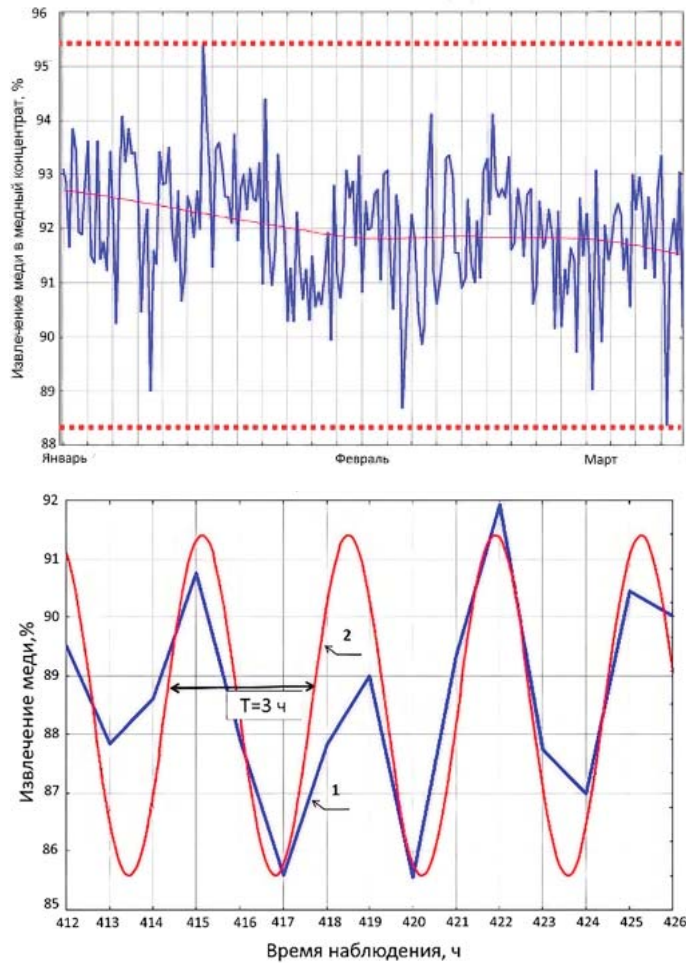


Рис. 3. Гармоники случайной функции  $\varepsilon = f(t)$ : а – фактические наблюдения извлечения меди; б – описание гармонической составляющей фактически наблюдаемого извлечения меди



Таблица 2

Результаты открытых опытов

β кл. – 71 мкм = 30,69% (5 мин)								
Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %			E, %
		Cu	Fe	S	Cu	Fe	S	
к-т Си головки (K1)	2,80	7,82	17,76	11,73	20,08	13,48	23,12	59,18
к-т I осн. флотации (K2)	2,28	12,24	20,10	11,68	25,6	12,42	18,76	
к-т II осн. флотации (K3)	2,34	7,46	11,92	5,90	16,02	7,56	9,72	
к-т контр (K4)	1,8	3,66	40,96	22,47	6,05	19,98	28,48	
K1+ K2 + K3 + K4	9,22	7,35	5,80	8,69	67,75	53,44	80,08	
Отвальные хвосты	90,78	0,39	1,89	0,31	32,25	46,56	19,92	
Руда	100	1,09	3,69	1,42	100	100	100	
β кл. – 71 мкм = 45,00% (10 мин)								
к-т Си головки (K1)	2,2	11,01	18,92	15,19	22,22	11,28	23,54	
к-т I осн. флотации (K2)	2,36	12,96	15,32	14,95	28,06	9,8	24,84	
к-т II осн. флотации (K3)	4,48	7,05	10,28	10,32	28,96	12,48	32,56	
к-т контр (K4)	1,86	2,21	6,59	2,54	3,77	3,32	3,33	
K1+ K2 + K3 + K4	10,9	7,62	3,38	7,73	83,01	36,88	84,27	
Отвальные хвосты	89,1	0,21	2,61	0,25	16,99	63,12	15,73	
Руда	100	1,09	3,69	1,42	100	100	100	
β кл.-71 мкм = 65,00% (15 мин)								
к-т Си головки (K1)	2,19	15,36	18,65	12,70	30,86	11,07	19,59	
к-т I осн. флотации (K2)	3,61	9,54	14,69	11,32	31,59	14,37	28,78	
к-т II осн. флотации (K3)	3,51	8,03	9,85	9,95	25,87	9,37	24,59	
к-т контр (K4)	1,86	1,92	6,63	2,53	3,28	3,34	3,32	
K1+ K2 + K3 + K4	11,17	8,20	3,42	6,83	91,6	38,15	76,28	
Отвальные хвосты	88,83	0,14	2,57	0,38	11,4	61,85	23,72	
Руда	100	1,09	3,69	1,42	103	100	100	
β кл. – 71 мкм = 65,00% (15+ 10 мин)								
к-т Си головки (K1)	2,35	20,97	19,02	14,78	45,2	12,11	24,46	
к-т I осн. флотации (K2)	3,09	12,26	10,35	12,64	34,75	8,67	27,5	
к-т II осн. флотации (K3)	3,94	4,11	7,38	4,44	14,85	7,88	12,33	
к-т контр (K4)	1,8	1,20	6,03	1,51	1,98	2,94	1,91	
K1+ K2 + K3 + K4	11,18	8,66	2,83	5,92	96,78	31,6	66,2	
Отвальные хвосты	88,82	0,04	2,84	0,54	3,22	68,4	33,8	
Руда	100	1,09	3,69	1,42	100	100	100	
β кл.-71 мкм = 70,75% (15+ 15 мин)								
к-т Си головки (K1)	2,4	18,26	18,62	14,47	40,2	12,11	24,46	
к-т I осн. флотации (K2)	4,09	9,53	7,82	9,55	35,75	8,67	27,5	
к-т II осн. флотации (K3)	5,02	3,44	5,79	3,49	15,85	7,88	12,33	
к-т контр (K4)	4,01	1,08	2,71	0,68	3,98	2,94	1,91	
K1+ K2 + K3 + K4	15,52	6,17	2,04	4,27	95,78	31,6	66,2	
Отвальные хвосты	84,48	0,05	2,99	0,57	4,22	68,4	33,8	
Руда	100	1,09	3,69	1,42	100	100	100	
β кл.-71 мкм = 75,75% (15+ 20 мин)								
к-т Си головки (K1)	2,20	19,42	20,31	15,79	39,2	12,11	24,46	
к-т I осн. флотации (K2)	4,15	8,86	7,71	9,41	33,75	8,67	27,5	
к-т II осн. флотации (K3)	4,92	3,95	5,91	3,56	17,85	7,88	12,33	
к-т контр (K4)	3,96	0,99	2,74	0,68	3,58	2,94	1,91	
K1+ K2 + K3 + K4	15,23	6,20	2,07	4,35	94,38	31,6	66,2	
Отвальные хвосты	84,77	0,07	2,98	0,57	5,62	68,4	33,8	
Руда	100	1,09	3,69	1,42	100	100	100	

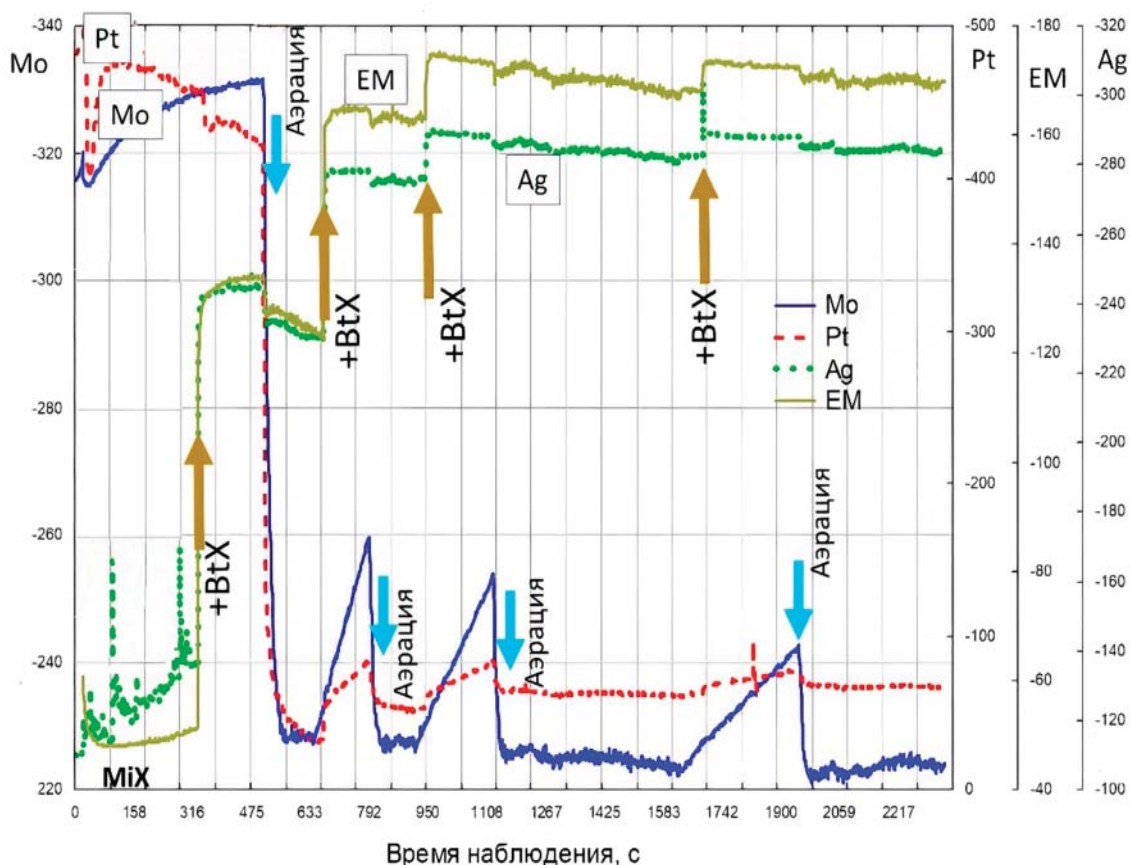


Рис. 4. Потенциалогамма кинетики изменения электрохимических потенциалов Mo, Pt, мембранного (EM), Ag электродов

Из данной таблицы можно сделать вывод о том, что наибольшая эффективность обогащения (86,54%) достигнута при применении двухстадийной схемы измельчения при времени измельчения 10 и 15 мин соответственно.

Также при постановке опытов на время измельчения было проведено изучение электрохимических свойств в опытах. На рис. 4 представлены потенциалогаммы, из которых видно, что при измельчении пробы наблюдается высокая степень растворения катионов тяжелых металлов. Появление катионов  $\text{Cu}^{2+}$  фиксируется потенциалами  $\text{Ag}_2\text{S}$  электрода на уровне минус 110 мВ. Образование в пульпе гидроокисных комплексов железа  $[\text{Fe}(\text{OH})]^+$  подтверждают значения Pt и Mo электродов на уровне  $-500 \div -450$  мВ и  $-320 \div -340$  мВ соответственно, зафиксированные при перемешивании исходной пульпы. Формирование в пульпе гидроокисных комплексов железа  $[\text{Fe}(\text{OH})]^+$ , возможно, приведет к ухудше-

нию технологических показателей за счет поглощения собирателя.

После второй стадии измельчения также наблюдается интенсивное образование в пульпе катионов тяжелых металлов. Для уменьшения влияния негативных факторов на флотацию возможно проведение измельчения в содовой среде, а также изменение точки возврата концентратного продукта промпродуктовой флотации в первую переотсадку. Для постановки замкнутого опыта была предложена схема, представленная на рис. 5. Результаты замкнутого опыта представлены в табл. 3.

В результате поставленного опыта удалось получить суммарный медный концентрат с содержанием и извлечением меди 22,08 и 95,39% соответственно.

При сравнении двух схем видно, что по разработанной схеме удалось повысить качество готового  $\text{Cu}$  концентрата на 0,33%. А извлечение в готовый медный концентрат увеличилось с 92,39 до 95,39%.

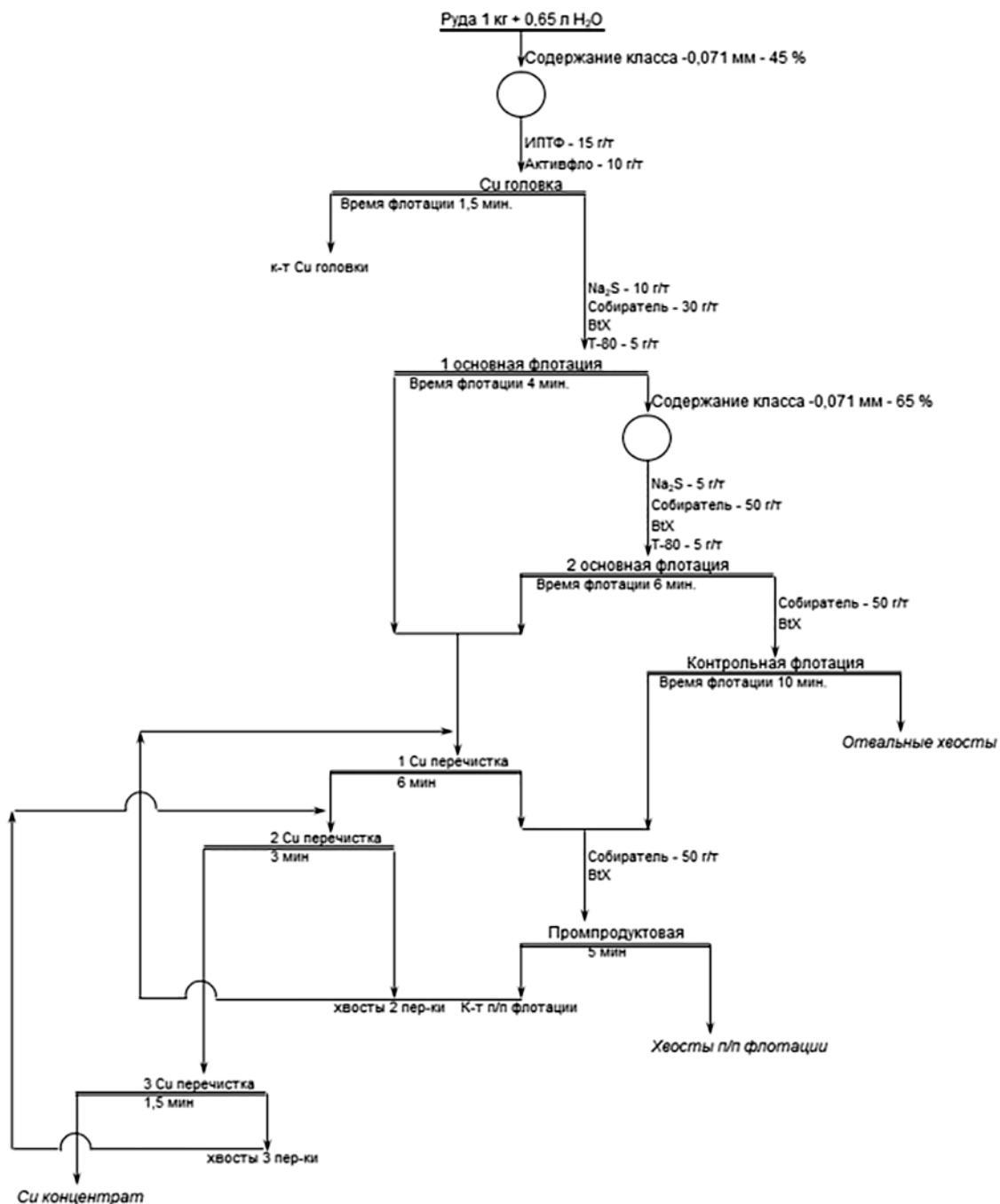


Рис. 5. Предполагаемая схема переработки

Таблица 3

Результаты замкнутого опыта

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %		
		Cu	Fe	S	Cu	Fe	S
Си головка	2,15	22,75	28,96	28,17	44,87	17,49	46,24
Си концентрат	2,17	25,38	34,25	26,99	50,52	20,88	44,71
Си головка + Си концентрат	4,32	22,08	8,88	21,05	95,39	38,37	90,95
Отвальные хвосты	95,68	0,05	2,29	0,12	4,61	61,63	9,05
Руда	100	1,09	3,56	1,31	100	100	100

### Заключение

Для поддержания высоких и стабильных технологических показателей в производственных условиях с помощью проведенной статистической оценки работы фабрики необходимо разрабатывать раскрытые схемы флотации в рудном цикле без циркуляции промпродуктов в основные операции процесса

Также проведен анализ схем одностадийного и двухстадийного измельчения с внедрением операции основной флотации после первой стадии. Анализ данных схем с помощью методов математического моделирования позволил доказать, что применение двухстадийной схемы измельчений позволяет получить более высокие технологические показатели.

Приоритетным направлением для дальнейших исследований является этап осуществления дозирования реагентов с учетом электрохимических параметров. Предложенный комплекс мер позволит снизить колебания технологических показателей и, как следствие, сделать процесс более управляемым.

### Список литературы

1. Литвиненко В.С., Цветков П.С., Двойников М.В., Буслаев Г.В. Барьеры реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития глобальной энергетики // Записки Горного института. 2020. № 244. С. 428–438. DOI: 10.31897/PMI.2020.4.5.
2. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. Кн. 1. Т. 3. М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2005. 158 с.
3. Афанасова А.В., Абурова В.А., Прохорова Е.О., Лушина Е.А. Исследование влияния депрессоров на флотоактивные порообразующие минералы при флотации сульфидных золотосодержащих руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 6–2. С. 161–174. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_62\_0\_161.
4. Dmitrieva D., Romasheva N. Sustainable development of oil and gas potential of the arctic and its shelf zone: The role of innovations // Journal of Marine Science and Engineering. 2020. Vol. 12 (8). P. 1–18. DOI: 10.3390/jmse8121003.
5. Иваник С.А., Илюхин Д.А. Флотационное выделение элементарной серы из золотосодержащих кеков // Записки Горного института. 2020. Т. 242. С. 202–208. DOI: 10.31897/PMI.2020.2.202.
6. Эрдэнэзуул Жаргалсайхан, Морозов В.В. Оптимизация реагентных режимов флотации медно-молибденовых руд с применением экономико-ориентированных критериев // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 3. С. 210–220. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-210-220.
7. Александрова Т.Н., О'Коннор С. Переработка платинометаллических руд в России и Южной Африке: состояние и перспективы // Записки Горного института. 2020. Т. 244. С. 462–473. DOI: 10.31897/PMI.2020.4.9.
8. Кузин Е.Н., Мокрушин И.Г., Кручинина Н.Е. Оценка возможности использования лейкоксен-кварцевого концентрата в качестве сырья для получения титанатов алюминия и магния // Записки Горного института. 2023. Т. 264. С. 886–894. DOI: 10.31897/PMI.2023.15.
9. Александрова Т.Н., Кузнецов В.В. Подход к определению удельной интенсивности аэрации при флотации // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2022. № 5. С. 125–136. DOI: 10.15372/FTPRPI20220512.
10. Ромашева Н.В., Бабенко М.А., Николайчук Л.А. Устойчивое развитие Арктического региона России: экологические проблемы и пути их решения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 10–2. С. 78–87. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_102\_0\_78.
11. Александрова Т.Н., Прохорова Е.О. Модификация свойств порообразующих минералов при флотации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 12. С. 123–138. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_12\_0123.
12. Яковлева Т.А., Ромашев А.О., Машевский Г.Н. Оптимизация дозирования флотационных реагентов при флотации руд цветных металлов с применением цифровых технологий // Горный информационно-аналитический бюллетень // 2022. № 6–2. С. 175–189. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_62\_0\_175.
13. Koteleva N., Kuznetsov V., Vasileva N. Simulator for Educating the Digital Technologies Skills in Industry. Part One. Dynamic Simulation of Technological Processes. Applied Sciences. 2021. Vol. 11, Is. 22. P. 10885. DOI: 10.3390/app112210885.
14. Васильева М.А., Волчихина А.А., Морозов М.Д. Оборудование и технологии для проведения работ по дозакладке выработанного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 6. С. 133–144. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_6\_0\_133.

## НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 622.7:622.343

DOI 10.17513/use.38255

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ  
РУДОПОДГОТОВКИ КОМПЛЕКСНЫХ МЕДНЫХ РУД****Каллаев И.Т., Струк Г.В., Николаева Н.В.***ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург,**e-mail: kallaev1996@mail.ru, g.vstruk@yandex.ru, Nikolaeva\_nv@pers.spmi.ru*

**Аннотация.** В условиях снижения качества минерального сырья, содержащего цветные металлы, важным становится вопрос оптимизации схем его переработки для получения кондиционных концентратов. Модернизация схем рудоподготовки на основании анализа априорной информации и экспериментальных исследований позволит минимизировать негативный эффект вовлечения в переработку более бедного низкокачественного минерального сырья в условиях увеличения объемов производства. В работе выполнен анализ современного состояния в области оборудования и схем рудоподготовки фабрик, перерабатывающих комплексные медные руды. Снижение качества сырья, а также увеличение сложности и объемов производства приводят к необходимости сокращения капитальных и эксплуатационных затрат на всех этапах переработки минерального сырья. Авторами проанализированы более 150 научно-технических источников и отобраны для более глубокого анализа и проработки 40 источников. Был проведен анализ работы более 50 предприятий, перерабатывающих комплексные медные руды. Анализ существующих исследований в области процессов рудоподготовки комплексных медных руд показал, что наиболее распространенной технологией (как при модернизации существующих, так и при проектировании новых предприятий) в России и в мире является технология на основе полусамозмельчения. При этом выявлена тенденция к переходу от схем с использованием мокрого полусамозмельчения к схемам с использованием измельчающих валков высокого давления.

**Ключевые слова:** схема рудоподготовки, дробление, измельчение, комплексные медные руды, энергоэффективность

**CURRENT TRENDS IN ORE PREPARATION  
OF COMPLEX COPPER ORES****Kallaev I.T., Struk G.V., Nikolaeva N.V.***Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg,**e-mail: kallaev1996@mail.ru, g.vstruk@yandex.ru, Nikolaeva\_nv@pers.spmi.ru*

**Annotation.** In the conditions of decreasing quality of mineral raw materials containing non-ferrous metals, the issue of optimization of schemes of their processing for obtaining conditioned concentrates becomes important. Modernization of ore preparation schemes based on the analysis of a priori information and experimental studies will minimize the negative effect of involvement in processing of poorer, low-quality mineral raw materials in the conditions of increasing production volumes. The paper analyzes the current state of the art in the field of equipment and ore treatment schemes for factories processing complex copper ores. Decrease in the quality of raw materials, as well as the increase in the complexity and volume of production, lead to the need to reduce capital and operating costs at all stages of processing of mineral raw materials. As a result, more than 150 scientific and technical sources were analyzed and 40 sources were selected for deeper analysis and elaboration. The work of more than 50 enterprises processing complex copper ores was analyzed. The analysis of existing studies in the field of ore preparation processes for complex copper ores showed that the most common technology (both in modernization of existing and design of new enterprises) in Russia and in the world is the technology based on semiautogenous grinding. At the same time, the tendency to transition from schemes using wet semiautogenous grinding to schemes using high-pressure grinding rolls was revealed.

**Keywords:** ore preparation scheme, crushing, grinding, complex copper ores, energy efficiency

Растущий спрос на цветные металлы (медь, никель, молибден, свинец, цинк и др.) обуславливает вовлечение в эксплуатацию все более бедных, сложных и комплексных месторождений [1–3]. Рентабельность разработки таких месторождений достигается за счет увеличения объемов переработки и снижения затрат на последующую переработку для получения кондиционных концентратов [4–6]. В современных проектах обогатительных фабрик, перерабатывающих руды цветных металлов, производительность по руде превысила 100 млн т в год и продолжает расти.

Это, в свою очередь, обуславливает необходимость разработки и внедрения новых технологий рудоподготовки и обогащения, крупногабаритного и современного оборудования и экономически целесообразных компоновочных решений [7–10].

Значительная доля цветных металлов сосредоточена в многокомпонентных или полиметаллических рудах, из которых в процессе переработки наряду с основными ценными металлами извлекаются в сопутствующие компоненты. Так, примером полезных ископаемых, относящихся к данной категории, являются комплексные мед-

ные руды, месторождения которых подразделяются на промышленные типы:

– сульфидный медно-никелевый (ценные компоненты – Cu и Ni, основные сопутствующие компоненты – Co, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, S, Au);

– медистые песчаники и сланцы (ценный компонент – Cu, основные сопутствующие компоненты – Ag, Re, Se, Te, Pb, Zn, Co, S);

– медноколчеданный (ценные компоненты – Cu, основные сопутствующие компоненты – Au, Ag, Zn, S, Pb, Se, Cd, Co, In, Te, Ge);

– медно-порфировый (ценные компоненты – Cu и Mo, основные сопутствующие компоненты – Mo, Re, Au, Ag, Se, Te);

– скарновый (ценные компоненты – Cu, основные сопутствующие компоненты – Au, Ag, Fe, Co, Mo, Se, Te, S);

– кварц-сульфидный (жильный) (ценные компоненты – Cu, основные сопутствующие компоненты – Ag, Au, Pb, Zn, Cd, Te, Se, Bi, Sb, Mo).

Для месторождений этих типов характерны следующие особенности: тонкая вкрапленность рудных минералов в массиве породы, невысокое содержание ценных компонентов, вариация значений по содержанию окисленной меди, а также изменение качества минерального сырья по мере отработки месторождения (изменение соотношения вторичных минералов меди по отношению к первичным, усложнение и изменение текстурно-структурных и механико-физических характеристик сырья). Необходимо отметить, что основная масса этих руд перерабатывается методами флотации и гидрометаллургии, что обуславливает крупность готового продукта после измельчения [11, 12]. Стоит отметить, что рудо-подготовка при переработке даже богатых и легкообогащаемых руд цветных металлов достаточно сложный технологический процесс, состоящий из операций дробления, грохочения, измельчения (в некоторых случаях и сверхтонкого измельчения) и классификации. Хотя перед операциями дробления стоит достаточно примитивная задача сокращения материала и получения оптимальной крупности питания цикла измельчения, но снизить затраты на данном этапе возможно за счет использования эффекта селективного дробления [13, 14], который может быть реализован, например, в короткоконусных дробилках, измельчающих валках высокого давления и роторных дробилках. Процессы измельчения являются самы-

ми энергозатратными процессами на обогатительных фабриках. Помимо раскрытия сростков и увеличения свободной поверхности твердого тела на стадии измельчения наблюдается изменение физического состояния, химических свойств и состава измельчаемого вещества (это особенно характерно для тонкого и сверхтонкого измельчения).

Таким образом, снижение качества сырья, обусловленное уменьшением содержания ценных компонентов, тонким взаимным проращением ценных и породообразующих минералов, близкими физико-механическими свойствами рудных минералов и пустой породы, ухудшением характера вкрапленности, а также увеличением комплексности и объемов производства, приводит к необходимости сокращения капитальных и эксплуатационных затрат на всех этапах переработки минерального сырья [15]. Особенно данная проблема актуальна для комплекса рудоподготовки, где на долю измельчения по разным оценкам приходится 50–70% всей электроэнергии, потребляемой горной промышленностью [16]. Так, при обогащении комплексных медных руд, в которых содержание одноименного компонента составляет 0,75%, на подготовительные процессы приходится около 77% энергии, потребляемой фабрикой, а оставшаяся часть – 23% расходуется на обогатительные и вспомогательные процессы. При этом снижение содержания меди в руде влечет увеличение энергозатрат на процессы сокращения крупности [17].

Целью работы является анализ научно-технической литературы и систематизация данных о схемах и аппаратах рудоподготовки при переработке комплексных медных руд.

#### Материалы и методы исследования

Проведен анализ русскоязычных и англоязычных научных публикаций, вышедших с 2000 г. (посвященных вопросам рудоподготовки полиметаллических руд), такие как журналы издательств Springer, Elsevier, MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute), «Руда и металлы», «Горная книга» и др., материалов российских и международных конференций (официальные документы, тексты докладов, презентации и резюме выступлений участников) за последние пятнадцать лет. В результате работы проанализированы более 150 научно-технических источников и отобраны для более глубокого анализа и проработки 40 источников.

*Схемы и оборудование  
рудоподготовки комплексных медных руд*

На сегодняшний день доминирующей технологией подготовки комплексных медных руд к обогащению является полусамозмельчение [18, 19]. До появления данной технологии передел рудоподготовки компоновался по классической схеме, представленной на рис. 1, и включал: двух- или трехстадиальное дробление, стержневое и шаровое измельчение, а также связанные с ними конвейеры, грохоты и бункеры [20].

Так, возможность разрушения продукта крупного дробления до крупности, требуемой для процессов измельчения в шаровой мельнице в одном агрегате при высокой эксплуатационной готовности (около 93%), привела к полному замещению компоновки, представленной на рис. 1, в крупных проектах по строительству новых и модернизации действующих обогатительных фабрик на компоновку, представленную на рис. 2. Дальнейшее развитие данной технологии происходило путем укрупнения

данных мельниц и создания все более мощных агрегатов.

Одним из недостатков полусамозмельчения является накопление в мельнице частиц так называемого критического класса крупности ( $-75+25$  мм). В этой связи модификацией компоновки, представленной на рис. 2, является включение в цикл измельчения мельницы полусамозмельчения (далее – МПСИ) конусной дробилки для додрабливания критического класса крупности. Установлено, что данная мера способствует увеличению производительности схемы [21]. При этом, даже если установка конусной дробилки для додрабливания критического класса крупности на начальном этапе нецелесообразна, разумно предусмотреть данное оборудование на случай изменчивости физико-механических свойств исходного сырья. Таким образом, схема, представленная на рис. 3, является стандартом при проектировании технологической цепочки комплексов рудоподготовки.

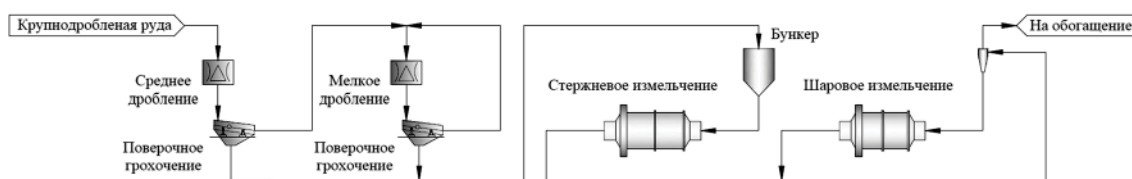


Рис. 1. Классическая схема рудоподготовки

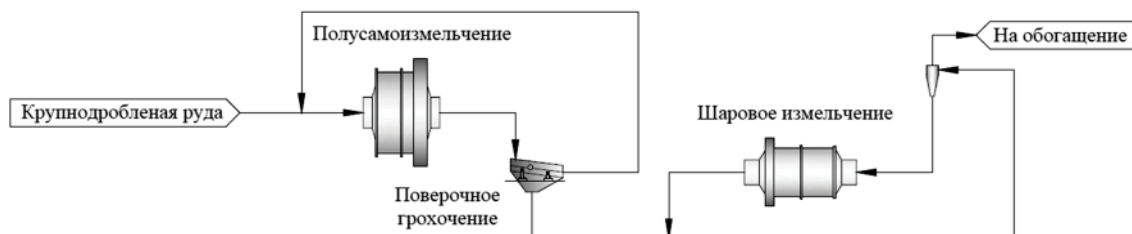


Рис. 2. Схема рудоподготовки, реализующая технологию полусамозмельчения

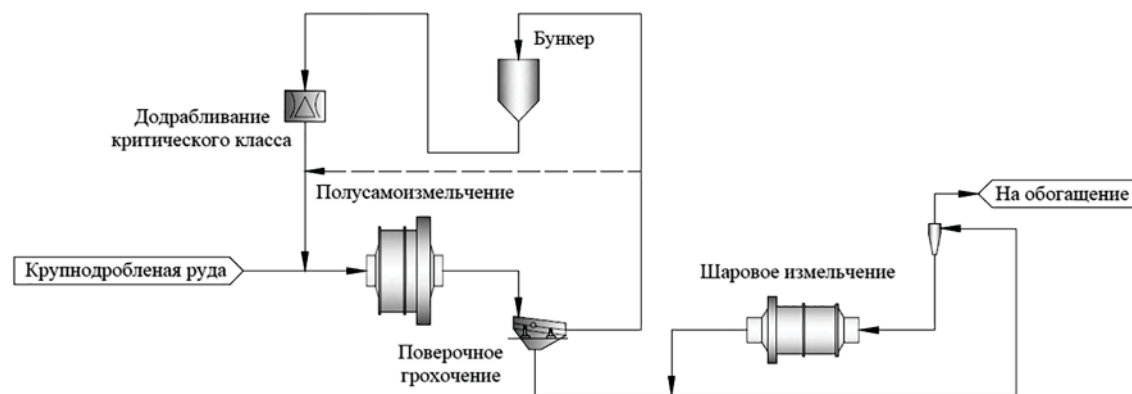


Рис. 3. Стандартная компоновка схемы рудоподготовки по технологии полусамозмельчения

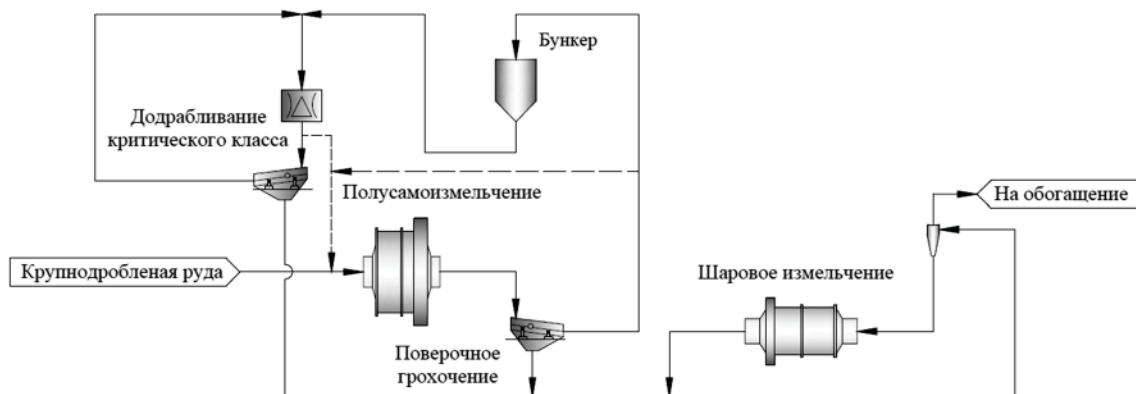


Рис. 4. Компоновка схемы рудоподготовки по технологии полусамозмельчения в открытом цикле

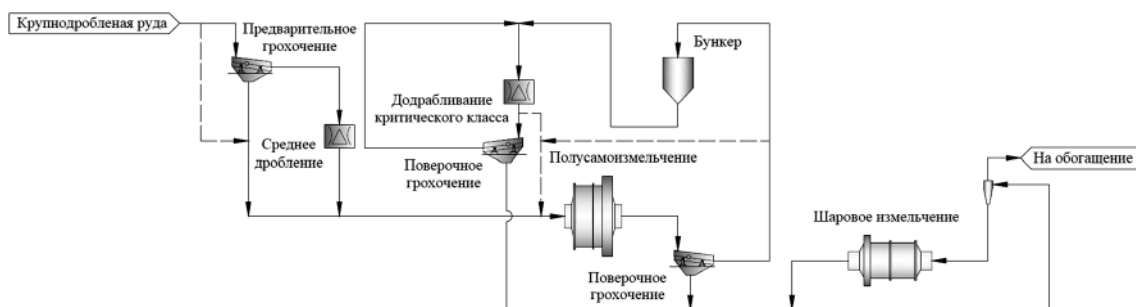


Рис. 5. Компоновка схемы рудоподготовки по технологии полусамозмельчения с преддроблением рудного потока

В некоторых случаях, при переработке твердых и очень твердых пород ( $A \times b$  меньше 40 и индексы работы Бонда выше 16 кВт·ч/т), схема, представленная на рис. 3, не обеспечивает проектную производительность (особенно это касается крупных проектов). Одним из решений данной проблемы является организация схемы, представленной на рис. 3, по открытому циклу, где продукт дробления отправляется на грохочение, подрешетный продукт которого подается на участок шарового измельчения, а надрешетный возвращается на додрабывание. Отличительной особенностью данной схемы является гибкость: возможность переработки руды в режиме открытого и закрытого цикла, что дополнительно позволяет максимизировать производительность МПСИ, например, при снижении прочности исходного питания. На рис. 4 представлена схема модификации открытого цикла с применением технологии полусамозмельчения.

Также в некоторых случаях для получения продукта требуемой крупности применяют схемы с преддроблением рудного потока [22, 23], представленные на рис. 5. Данная мера применяется в случаях невоз-

можности оптимизации взрывных работ и крупного дробления, например, в подземных рудниках.

Стандартным режимом является работа МПСИ с шаровой загрузкой в диапазоне от 4 до 12% объема мельницы [8]. При этом общеизвестно, что сокращение крупности материала происходит за счет воздействия на мелкие частицы шаровой загрузки и крупных частиц [24]. Однако в текущих условиях, когда в связи с усложнением распределения ценных минералов во вмещающей породе используют все более высокую шаровую загрузку при снижении пропускной способности агрегата, влияние крупных частиц становится незначительным. В этой связи большую популярность приобретает перенос работы дезинтеграции на стадии взрывных работ [25–27] и крупного дробления. Так, опыт предприятий по повышению производительности МПСИ за счет программ подготовки сырья «от шахты к мельнице» позволил повысить производительность агрегата на 15%. Также чувствительность МПСИ к изменчивости в прочностных свойствах исходной руды приводит к необходимости поиска решения стабилизировать работу данного аппарата. В этой связи



популярность приобретают методы смешения руды перед подачей в мельницу.

Актуальным проектно-компоновочным решением при организации циклов рудоподготовки является применение циклично-поточной технологии, реализующей крупное дробление на карьере с последующим транспортированием крупнодробленого продукта ленточными конвейерами на рудный склад обогатительной фабрики [28]. При этом в первой стадии используют конусные дробилки, которые вытеснили щековые ввиду более высокой производительности, возможности получения более мелкого продукта, а также возможности работы под завалом. В качестве оборудования для грохочения на разгрузке МПСИ в данных схемах используются вибрационные бутары для удаления большей части шлама, с последующей подачей материала на вибрационный грохот для промывки [17]. При этом наблюдение за работой данного цикла позволило установить, что в некоторых случаях использование конвейерных систем для транспортирования критического класса в дробилку для последующего дробления не обеспечивает требуемой производительности схемы. Так, еще одним направлением модификации схемы рудоподготовки с использованием МПСИ является отвод крити-

ческого класса в бункер с последующей подачей материала в конусную дробилку для додробления.

Поиск вариантов снижения энергозатрат на процессы сокращения крупности привел к появлению конкурирующей технологии – измельчающих валков высокого давления (далее – ИВВД) [29], которые до 1980-х гг. использовались только в цементной промышленности [30–32]. Установлено, что компоновка технологической цепочки передела рудоподготовки по данной технологии обеспечивает энергоэффективность схемы в диапазоне от 10 до 30% в сравнении со стандартным циклом полусамомельчения [33], а также менее зависит от колебаний прочностных свойств исходного питания. Наиболее распространенное компоновочное решение предусматривает установку данного оборудования в классической схеме, представленной на рис. 1, на стадии мелкого дробления в замкнутом цикле с совмещенными операциями предварительного и поверочного грохочения, что позволяет снизить рабочий индекс шарового измельчения  $\Phi$ . Бонда руды, по разным оценкам, на 5–25% [34]. Стандартная компоновка комплекса подготовки руды к обогащению, реализующего технологию ИВВД, представлена на рис. 6.

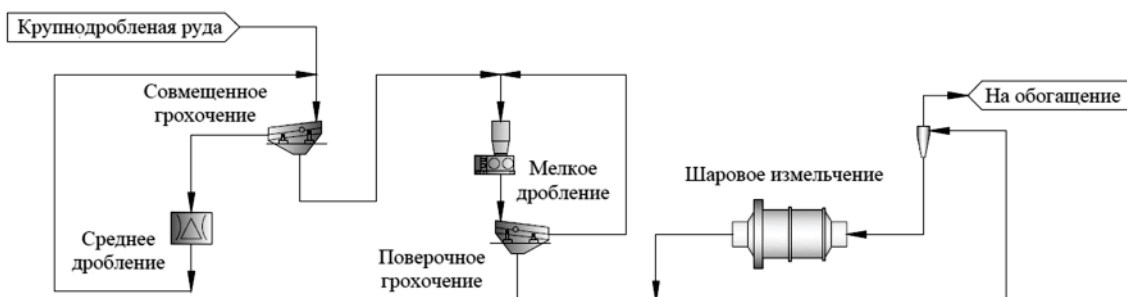


Рис. 6. Стандартная компоновка схемы рудоподготовки по технологии ИВВД

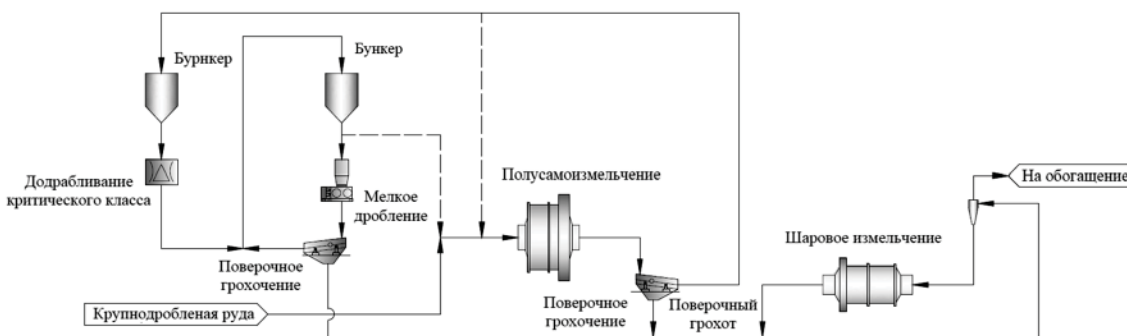


Рис. 7. Компоновка схемы рудоподготовки, сочетающая технологию полусамомельчения и ИВВД

Также ИВВД получили распространение в схемах с МПСИ в качестве дробилок додрабливания критического класса крупности. В данном случае критический класс измельчается до гораздо более тонкого продукта, что снижает энергопотребление шаровой мельницы и увеличивает пропускную способность схемы. На рис. 7 представлена модификация схем, спроектированных по технологии полусамоизмельчения с установкой в цикле грубого измельчения дробилок додрабливания критического класса крупности.

Сравнительный анализ схем, сконструированных по технологии полусамоизмельчения и ИВВД [35], показывает увеличение количества оборудования, необходимого для получения продукта крупностью, соответствующей последующим стадиям обогащения, в схемах ИВВД и, как следствие, рост капитальных затрат. В этой связи некоторые модификации технологической схемы, реализующей технологию ИВВД, такие как среднее и мелкое дробление в открытом цикле, часто предлагались для упрощения стандартной компоновки данного оборудования в циклах рудоподготовки с уменьшением капитальных затрат. Однако в настоящее время данные потенциальные подходы остаются менее эффективными. Тем не менее исключение вспомогательного оборудования из схемы рудоподготовки остается одним из ведущих направлений модификации схемы рудоподготовки с использованием ИВВД.

Особые требования предъявляются к влажности исходного питания для циклов ИВВД. Так, влажность питания агрегата выше 10% приводит к снижению производительности и увеличению скорости износа валков, что связано с невозможностью создания слоя самофутеровки на поверхности измельчающих валков.

#### *Международный и отечественный опыт в области рудоподготовки комплексных медных руд*

Технологические схемы рудоподготовки представляют собой разновидности комбинаций процессов сокращения крупности, выбор и компоновка которых обусловлены физико-механическими свойствами перерабатываемого сырья, особенностью его минералогического состава и крупностью, требуемой для дальнейших процессов обогащения.

Примером реализации цикла полусамоизмельчения является обогатительная фабрика Wushan (КНР) [36], схема подготовки руды на которой включает крупное дробление, рудное полусамоизмельчение в МПСИ Ø10,5 м, операцию додрабливания критического класса, осуществляемую в конусных дробилках НР-800, и шаровое измельчение в мельнице 7,9×13,6 м. На рис. 8 представлена схема рудоподготовки на предприятии Wushan (КНР).

Аналогичной по комбинации методов разрушения, но реализующей циклично-поточную технологию как одно из популярных проектно-компоновочных решений является обогатительная фабрика «Оютолгой» (Монголия) [17], Toromocho (Перу) [17, 34, 36], Escondida-OGP1 [34, 36], а также Mina Ministro Hales (Чили), Esperanza (Чили) и Las Bambas (Перу) [34, 36]. Так, на обогатительной фабрике Toromocho технология рудоподготовки включает крупное дробление в гирационной дробилке типоразмера 1575×1905 мм и двухстадиальное измельчение в МПСИ Ø 12,2 м и шаровых мельницах 8,5×13,4 м. При этом критический класс, образующийся в МПСИ, подвергается дроблению в додрабливающих конусных дробилках МР1000. На рис. 9 представлена схема рудоподготовки на предприятии Toromocho (Перу).

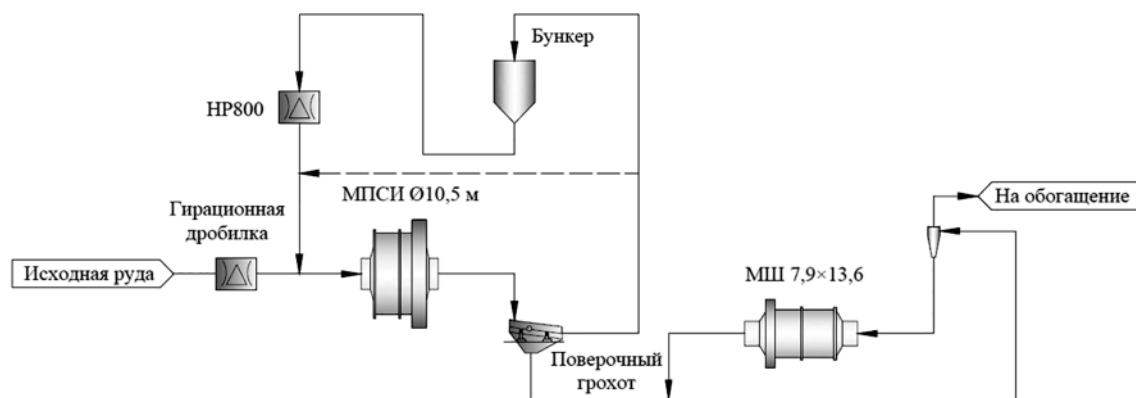


Рис. 8. Схема рудоподготовки на предприятии Wushan (КНР)

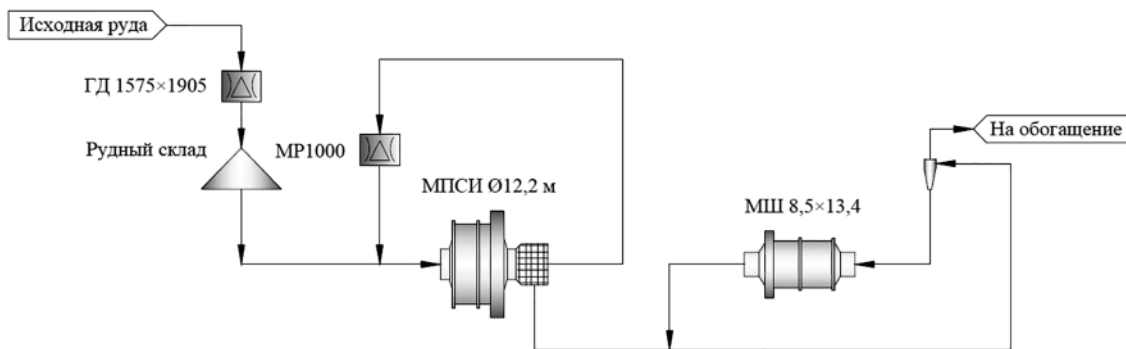


Рис. 9. Схема рудоподготовки на предприятии Torotocho (Перу)

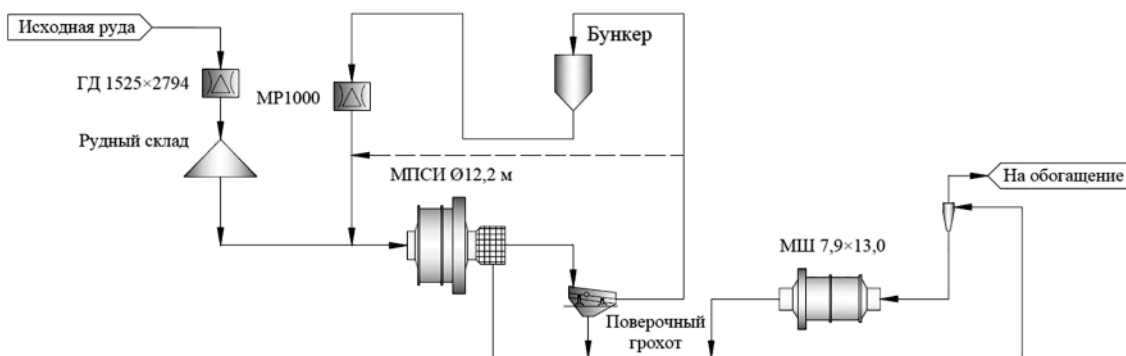


Рис. 10. Схема рудоподготовки обогатительной фабрики Escondida-OGP1 (Чили)

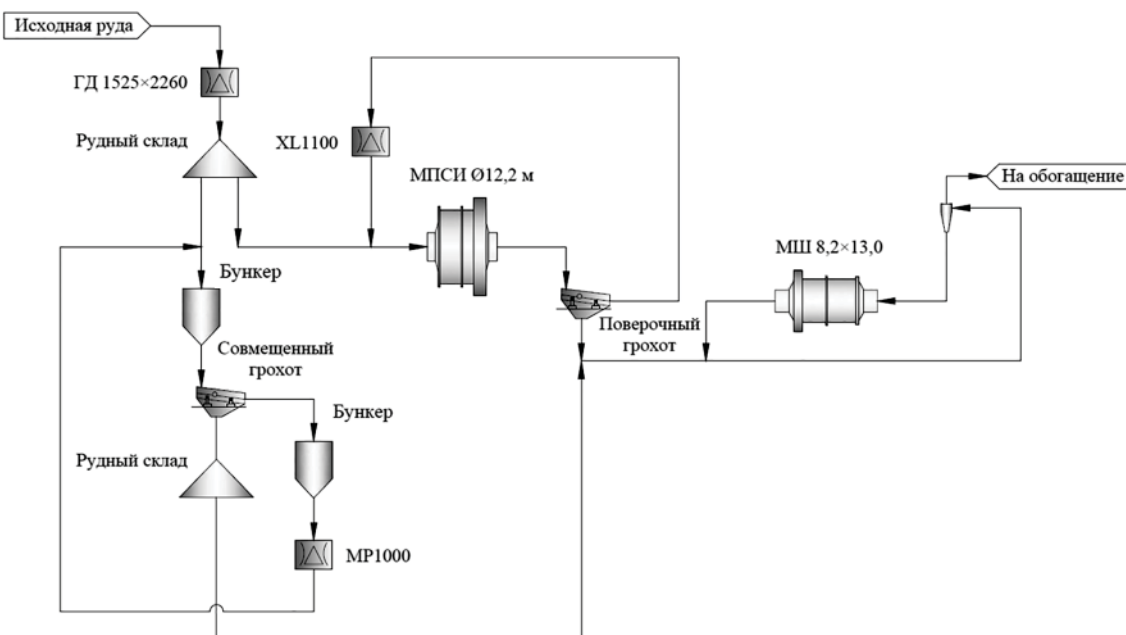


Рис. 11. Схема рудоподготовки предприятия Esperanza (Чили)

Технические решения, реализованные на предприятии Escondida-OGP1, включают крупное дробление в гираторной дробилке типоразмера 1525×2794 мм, рудное полусамозмельчение в МПСИ Ø 12,2 м,

додробливание критического класса в конусных дробилках МР1000 и шаровое измельчение в мельницах 7,93×13 м. На рис. 10 представлена схема рудоподготовки на предприятии Escondida-OGP1 (Чили).

На обогатительной фабрике Esperanza технология рудоподготовки заключается в крупном дроблении в гирационной дробилке типоразмера 1525×2260 мм и двухстадиальном измельчении в МПСИ Ø 12,2 м с додраблыванием критического класса крупности в дробилках XL1100 и шаровом измельчении в мельницах 8,2×13 м. Также особенностью данного предприятия является наличие дополнительной цепочки мелкого дробления в конусных дробилках MP1000, продукт которых поступает на вторую стадию измельчения. На рис. 11 представлена схема рудоподготовки на предприятии Esperanza (Чили).

В зависимости от физико-механических свойств перерабатываемой руды и, в частности, сопротивляемости материала определенной крупности процессам дробления и измельчения, для получения продукта крупностью, необходимой для дальнейших процессов обогащения, количество операций разрушения может увеличиться или уменьшиться. В этой связи технологическая схема подготовки руды может быть представлена в виде комбинаций: 1 – крупное и среднее дробление + грубое измельчение + мелкое дробление + среднее измельчение, 2 – крупное дробление + грубое измельчение + мелкое дробление + среднее и тонкое измельчение, 3 – крупное дробление + грубое и среднее измельчение и 4 – грубое дробление + грубое, среднее и тонкое измельчение и т.д. Примером варианта компоновки, включающей крупное дробление + грубое измельчение + мелкое дробление + среднее измельчение, является обогатительная фабрика Correr Mountain (Канада) [34]. Проектная технологическая цепочка данной фабрики включала крупное дробление в гирационной дробилке типоразмера 1525×2260 мм и двухстадиаль-

ное измельчение в МПСИ Ø 10,4 м и шаровых мельницах 7,3×12,2 м с дроблением критического класса крупности в конусных дробилках XL900, однако для достижения запланированной проектной производительности схема была модернизирована – между операциями крупного дробления и рудного полусамоизмельчения была добавлена операция преддробления горной массы в дробилках XL2000, которая в совокупности с увеличением расхода взрывчатых веществ на карьере позволила фабрике выйти на требуемую производительность. Таким образом, комбинация процессов сокращения крупности в модернизированной цепочке приняла вид (вариант компоновки 2). На рис. 12 представлена схема рудоподготовки на предприятии Correr Mountain (Канада).

Похожее технологическое решение было применено на предприятиях «Томинский ГОК» и «Михеевский ГОК» (Россия) [37, 38]. Так, технологическая цепочка, реализованная на Томинском ГОКе, включает крупное дробление в гирационных дробилках МК-II 60-89, трехстадиальное измельчение в МПСИ Ø 11,6 м и шаровых мельницах 8,5×14,5 м с додраблыванием критического класса в дробилках MP-800. На рис. 13 представлена схема рудоподготовки на предприятии «Томинский ГОК» (Россия).

На обогатительных фабриках Robinson (США) [39] и «Малмыжский ГОК» (Россия) [40] операции рудоподготовки скомпонованы по схеме, включающей крупное дробление + грубое и среднее измельчение (тонкое измельчение). Важно отметить, что в данных схемах из-за мягкости руды операция дробления критического класса в конусных дробилках отсутствует – циркуляционный поток рудного полусамоизмельчения направляется обратно в питание МПСИ.

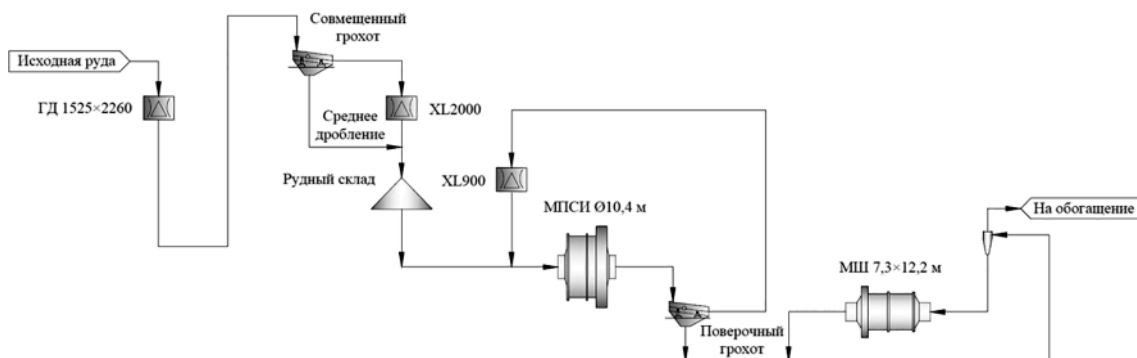


Рис. 12. Схема рудоподготовки предприятия Copper Mountain (Канада)

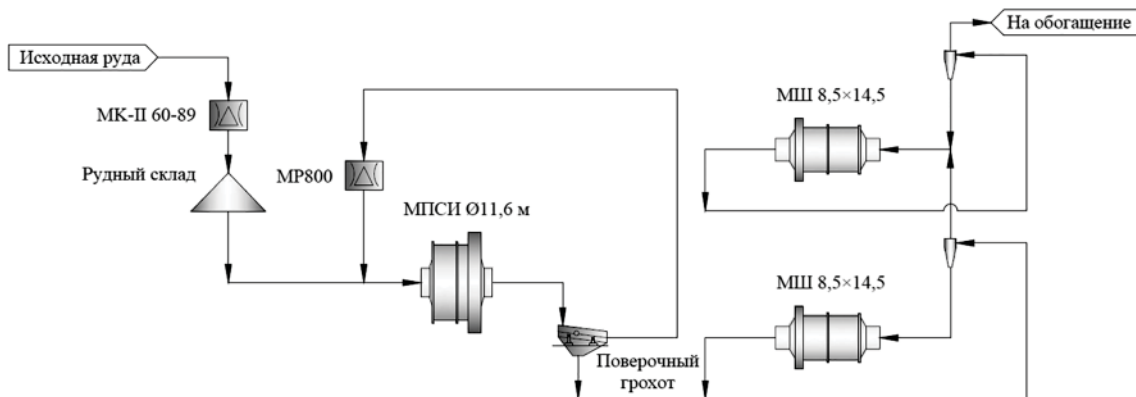


Рис. 13. Схема рудоподготовки предприятия «Томинский ГОК» (Россия)

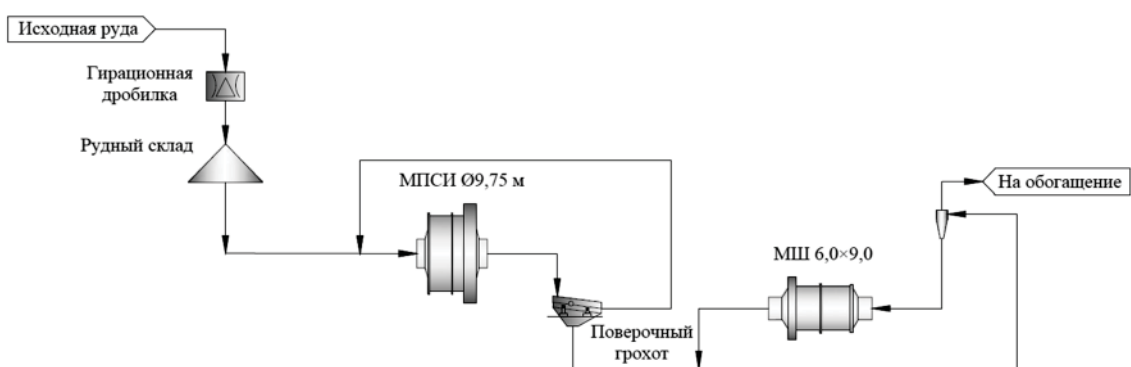


Рис. 14. Схема рудоподготовки предприятия Robinson (США)

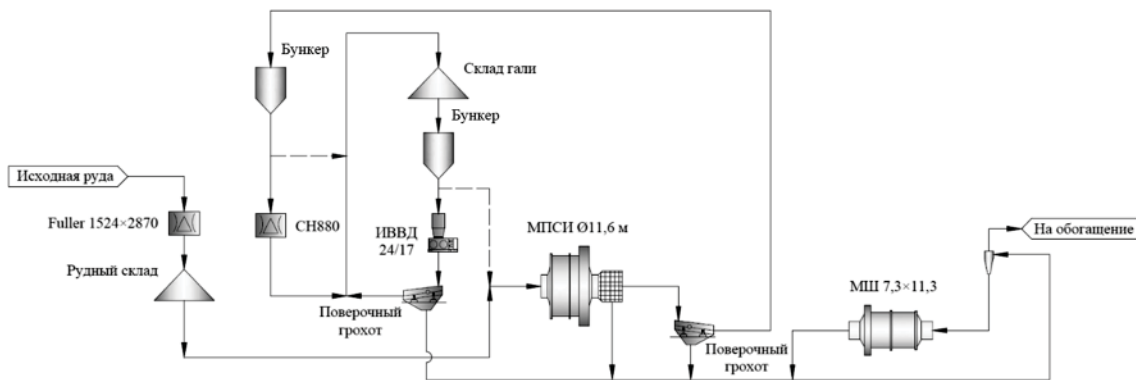


Рис. 15. Схема рудоподготовки на предприятии Penasquito (Мексика)

Так, технологическая цепочка подготовки руды обогатительной фабрики Robinson включает крупное дробление в гирационной дробилке и двухстадиальное измельчение в МПСИ Ø 9,75 м и шаровых мельницах 6,0×9,0 м, а предприятия «Малмыжский ГОК» – крупное дробление на руднике в гирационной дробилке и трехстадиальное измельчение в МПСИ Ø 12,2 м и шаровых мельницах 8,5×14,5 м. На рис.14 представлена схема рудоподготовки на предприятии Robinson (США).

Поиск вариантов по повышению энергоэффективности схем рудоподготовки привел в начале XXI в. к внедрению в горнодобывающую отрасль ИВВД. Данные аппараты получили распространение как в циклах полусамозмельчения для интенсификации процесса измельчения, так и как конкурирующий вариант технологии рудного полусамозмельчения. Примером реализации данной комбинации являются обогатительные фабрики Penasquito (Мексика) [17, 34], Cadia (Австралия) [34], «Бозщаколь» и «Актогай»

(Казахстан) [34]. Рудоподготовительный комплекс на фабрике Penasquito включает крупное дробление в дробилке ККД Fuller 1524×2870 мм и двухстадиальное измельчение в МПСИ Ø 11,6 м и шаровых мельницах 7,3×11,3 м с додробливанием критического класса в дробилках Sandvik CH880 и ИВВД 24×17. На рис. 15 представлена схема рудоподготовки на предприятии Penasquito (Мексика).

Примером применения технологии ИВВД с полным отказом от рудного полусамозмельчения является обогатительная фабрика Metcalf (США) [34]. Так, схема подготовки руды на фабрике Metcalf включает трехстадиальное дробление в гирационной дробилке 1600×2260 мм, дробилке MP1250 и ИВВД HRC3000, а также шаровое измельчение в мельницах 7,3×12,3 м. Аналогичными по комбинации методов разрушения являются технологические схемы рудоподготовки на фабриках Cerro Verde (Перу), Sierra Gorda (Чили), Solobo (Бразилия), Boddington (Австралия), Tropicana Gold (Австралия) и Toquepala (Перу) [34]. На предприятии Cerro Verde в состав рудоподготовительного передела входит крупное дробление, осуществляемое в гирационной дробилке типоразмера 1525×2870 мм, среднее дробление – в конусной дробилке MP-1250С, разупрочнение в ИВВД Polysius

24/17 и шаровое измельчение в мельнице 8,2×14,6 м. На рис. 16 представлена схема рудоподготовки на предприятии Metcalf (США).

Технологическая цепочка обогатительной фабрики Sierra Gorda включает трехстадиальное дробление в гирационной дробилке 1600×2260 мм, дробилке MP1250 и ИВВД Polysius 24/17, а также шаровое измельчение в мельницах 7,9×13,4 м. На рис. 17 представлена схема рудоподготовки на предприятии Sierra Gorda (Чили).

Несмотря на энергоэффективность схем рудоподготовки, реализующих технологию рудного полусамозмельчения и дробления в ИВВД, их главный недостаток заключается в низкой эксплуатационной надежности. В этой связи некоторые обогатительные предприятия отдают предпочтение стандартным схемам, включающим стадийное дробление в щековых/конусных/ударных дробилках и измельчение в шаровых мельницах. Примером предприятий, рудоподготовительный передел которых сконструирован по стандартной технологии КД + СД + МД/КД + СД + МД + МД, является обогатительная фабрика Bouganville (Папуа – Новая Гвинея), а также Теректинская фабрика [17, 34, 36], особенностью которой является использование ударной дробилки последней стадии при четырехстадийной схеме дробления.

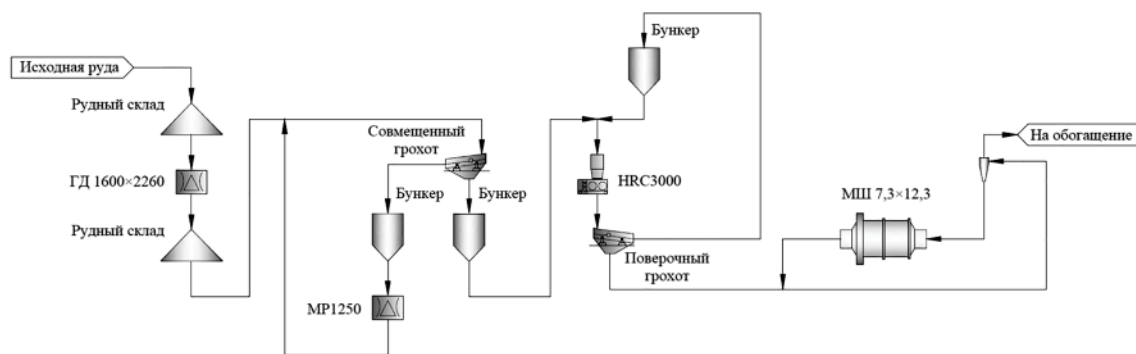


Рис. 16. Схема рудоподготовки на предприятии Metcalf (США)

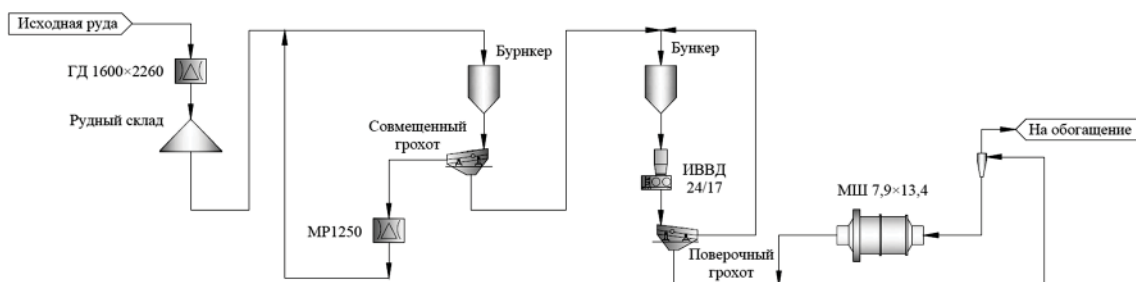


Рис. 17. Схема рудоподготовки на предприятии Sierra Gorda (Чили)

### Заключение

Был проведен анализ работы более 50 предприятий, перерабатывающих комплексные медные руды. Анализ существующих исследований в области процессов рудоподготовки комплексных медных руд показал, что наиболее распространенной технологией (как при модернизации существующих, так и при проектировании новых предприятий) в России и в мире является технология на основе полусамоизмельчения. При этом для оптимизации проектно-компоновочных решений все чаще крупное дробление выносят в карьер с организацией циклично-поточной технологии добычи и транспортирования руды на фабрику (37%). Но в связи с ухудшением качества сырья, обусловленного уменьшением содержания ценных компонентов, тонким взаимным проращением ценных и породообразующих минералов, близкими физико-механическими свойствами рудных минералов и пустой породы, ухудшением характера вкрапленности, а также увеличением объемов производства схемы трансформируются и усложняются. Выявлена тенденция к переходу от схем с использованием МПСИ к схемам с установкой ИВВД. Модернизированные схемы могут включать как комбинацию крупного дробления, полусамоизмельчения и шарового измельчения (26%); крупного дробления, полусамоизмельчения, ИВВД (как преддробление или додрабывание) и шарового измельчения (54%), дробления с ИВВД (замена полусамоизмельчения) и шарового измельчения (20%). Решение по выбору технологии рудоподготовки, особенно это актуально для крупных ГОКов, принимается на основании достоверной и комплексной оценки свойств руды и использования минимального количества основного технологического оборудования.

### Список литературы

1. Aleksandrova T.N., Nikolaeva N.V., Afanasova A.V., Romashev A.O., Aburova V.A., Prokhorova E.O. Extraction of Low-Dimensional Structures of Noble and Rare Metals from Carbonaceous Ores Using Low-Temperature and Energy Impacts at Succeeding Stages of Raw Material Transformation // *Minerals*. 2023. Vol. 13, Is. 1. DOI: 10.3390/min13010084.
2. Чантурия В.А. Научное обоснование и разработка инновационных процессов извлечения циркония и РЗЭ при глубокой и комплексной переработке эвдиалитового концентрата // *Записки Горного института*. 2022. Т. 256. С. 505–516. DOI: 10.31897/PMI.2022.31.
3. Афанасова А.В., Абурова В.А. Укрупнение низкоразмерных благородных металлов из углеродистых материалов с применением микроволновой обработки // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024. № 1. С. 20–35. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_1\_0\_20.
4. Литвиненко В.С., Петров Е.И., Василевская Д.В., Яковенко А.В., Наумов И.А., Ратников М.А. Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами // *Записки Горного института*. 2023. Т. 259. С. 95–111. DOI:10.31897/PMI.2022.100.
5. Lusty Paul A.J., Gunn A.G. Challenges to global mineral resource security and options for future supply // *Geological Society London Special Publications*. 2014. No. 393 (1). P. 265–276. DOI: 10.1144/SP393.13.
6. Александрова Т.Н., Прохорова Е.О. Модификация свойств породообразующих минералов при флотации // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023. № 12. С. 123–138. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_12\_0\_123.
7. Чантурия В.А., Александрова Т.Н. Вклад ученых Российской академии наук в становление и развитие процессов обогащения и переработки минерального сырья. К 300-летию Российской академии наук // *Цветные металлы*. 2024. № 1. С. 6–16. DOI: 10.17580/tsm.2024.01.01.
8. Львов В.В., Читалов Л.С. Современные тенденции подходов к расчету рудоподготовительных процессов аппаратов для переработки руд цветных металлов // *Цветные металлы*. 2020. № 10. С. 20–26. DOI: 10.17580/tsm.2020.10.03.
9. Яковлева Т.А., Ромашев А.О., Машевский Г.Н. Оптимизация дозирования флотационных реагентов при флотации руд цветных металлов с применением цифровых технологий // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 6–2. С. 175–188. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_6\_2\_0\_175.
10. Ануфриев А.С., Лебедик Е.А., Бажин В.Ю. Новые подходы для повышения эффективности автоматизированных систем управления переделами рудоподготовки // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024. № 2. С. 76–92. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_2\_0\_76.
11. Афанасова А.В., Абурова В.А., Прохорова Е.О., Лушина Е.А. Исследование влияния депрессоров на флотоактивные породообразующие минералы при флотации сульфидных золотосодержащих руд // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022. № 6–2. С. 161–174. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_6\_2\_0\_161.
12. Залесов М.В., Григорьева В.А., Трубилов В.С., Бодуэн А.Я. Разработка технических решений для повышения эффективности переработки высокомедистой золотосодержащей руды // *Горная промышленность*. 2021. № 5. С. 51–56. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-51-56.
13. Александрова Т.Н., Афанасова А.В., Кузнецов В.В., Бабенко Т.А. Исследование процессов селективной дезинтеграции медно-никелевых руд Заполярного месторождения // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021. № 12. С. 73–87. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_12\_0\_73.
14. Хопунов Э.А. Роль структуры и прочностных характеристик минералов в разрушении и раскрытии руд // *Обогащение руд*. 2011. № 1. С. 25–31.
15. Xie Q., Zhong C., Liu D., Fu Q., Wang X., Shen Z. Operation Analysis of a SAG Mill under Different Conditions Based on DEM and Breakage Energy Method // *Energies*. 2020. Vol. 13, Is. 20. P. 1–13.
16. Adewuyi S.O., Ahmed H.A.M., Ahmed H.M.A. Methods of Ore Pretreatment for Comminution Energy Reduction // *Minerals*. 2020. Vol. 10, Is. 5. P. 1–23.
17. Баранов В.Ф., Сатаев И.Ш. О мировой практике рудоподготовки медно-порфировых руд // *Обогащение руд*. 2011. № 2. С. 3–9.
18. Aleksandrova T.N., Orlova A.V., Taranov V.A. Current status in the copper ore processing (review) // *Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya (Universities' Proceedings Non-Ferrous Metallurgy)*. 2021. No 3. P. 4–14.
19. Мелехина К.А., Ананьев П.П., Плотникова А.В., Тимофеев А.С., Шестак С.А. Моделирование и оптимизация процесса рудоподготовки комплексных руд при их дезинтеграции в мельнице самоизмельчения // *Горный информа-*

- ционно-аналитический бюллетень. 2020. № 10. С. 95–105. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-95-105.
20. Starkey J. Keys to best practice comminution // *Minerals Engineering*. 2022. Vol. 180. P. 1–7.
21. Rodrigues A.F., Delboni H.Jr., Powell M.S., Tavares L.M. Comparing strategies for grinding itabirite iron ores in autogenous and semi-autogenous pilot-scale mills // *Minerals Engineering*. 2021. Vol. 163. P. 1–8.
22. Delboni H., Costa e Silva E.A., Chieregati V.K., Ana C. Pre-Processing to Increase the Capacity of SAG Mill Circuits—Case Study // *Minerals*. 2022. Vol. 1, Is. 6. P. 1–12.
23. Kara Y., Tatar A., Hasyamanlar A. Eti Copper Siirt flotation plant revision studies // *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 2023. Vol. 5, Is. 59. P. 1–8.
24. Owusu K.B., Zanin M., Skinner W., Asamoah R.K. AG/SAG mill acoustic emissions characterisation under different operating conditions // *Minerals Engineering*. 2021. Vol. 171. P. 1–10.
25. Katsabanis P.D. Analysis of the Effects of Blasting on Comminution Using Experimental Results and Numerical Modelling // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2020. Vol. 53, Is. 7. P. 3093–3109.
26. Khademian A., Bagherpour R. Alteration of grindability of minerals due to applying different explosives in blasting operation // *Minerals Engineering*. 2017. Vol. 111. P. 174–181.
27. Kinyua E.M., Jianhua Z., Kasomo R.M., Mauti D. A review of the influence of blast fragmentation on downstream processing of metal ores // *Minerals Engineering*. 2022. Vol. 186. P. 1–19.
28. Лукьянов Ю.А., Пыталев И.А. Циклично-поточная технология как условие обеспечения производственной мощности горно-обогатительных комплексов // *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2020. № 1. С. 244–252.
29. Thivierge A., Bouchard J., Desbiens A. Unifying high-pressure grinding rolls models // *Minerals Engineering*. 2022. Vol. 178. P. 1–19.
30. Campos T.M., Bueno G.B., Gabriel K.P., Tavares L.M. Pressing iron ore concentrate in a pilot-scale HPGR. Part 1: Experimental results // *Minerals Engineering*. 2019. Vol. 140. P. 1–7.
31. Morrell S. Helping to reduce mining industry carbon emissions: A step-by-step guide to sizing and selection of energy efficient high pressure grinding rolls circuits // *Minerals Engineering*. 2022. Vol. 179. P. 1–26.
32. Pamparana G., Klein B. A methodology to predict the HPGR operational gap by using piston press tests // *Minerals Engineering*. 2021. Vol. 166. P. 1–12.
33. Nghipulile T., Nkwanyana S., Lameck N. The Effect of HPGR and Conventional Crushing on the Extent of Micro-Cracks, Milling Energy Requirements and the Degree of Liberation: A Case Study of UG2 Platinum Ore // *Minerals*. 2023. Vol. 13, Is. 10. P. 1–25.
34. Baranov V.F. Designs of new operating copper processing plants: process types, equipment selection, industry trends // *Obogashchenie Rud*. 2021. No 1. P. 44–52.
35. Gagnon C., Rosa A., Makni S., McIvor R. Replacement of Wet Ball Milling with High-Pressure Grinding Ahead of Mineral Separation // *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2023. P. 1–8.
36. Baranov V.F. Overview of operating practices of foreign concentrators processing sulfide and mixed copper ores // *Obogashchenie Rud*. 2020. No. 3. P. 43–47.
37. Altushkin I.A., Levin V.V., Gordeev A.I., Pikalov V.A. Development of the Tominsk and Mikheevsk copper ore deposits of the Southern Urals // *Tsvetnye Metally*. 2019. No 7. P. 21–28.
38. Belov A.S., Shenderovich E.M. Design cases for Russia's largest mining and processing enterprises for copper ores // *Obogashchenie Rud*. 2021. No. 6. P. 48–52.
39. Baranov V.F. The use of foreign experience in the development of a reconstruction option for the Zhezkazgan concentration complex // *Obogashchenie Rud*. 2020. No 1. P. 54–59.
40. Baranov V.F. Projects which push the limits of efficient performance concepts of high-pressure grinding rollers // *Gornyi Zhurnal*. 2021. No. 11. P. 33–38.



СТАТЬЯ

УДК 528

DOI 10.17513/use.38256

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕЙ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ  
БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ВМЕСТО ТРАДИЦИОННЫХ  
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

<sup>1,2</sup>Макаров С.О., <sup>2,1</sup>Тихонов А.Д., <sup>2</sup>Рудченко Г.А.

<sup>1</sup>Российский университет транспорта, Москва, e-mail: makstas96@ya.ru, tikhonov78@mail.ru;

<sup>2</sup>Государственный университет по землеустройству, Москва, e-mail: rudchenkogeorg@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены вопросы, решение которых позволит в большей мере заменить при производстве геодезических работ спутниковой аппаратурой традиционные геодезические сети сетями постоянно действующих базовых станций. В связи с этим приводятся описание сетей базовых станций и принцип их работы. Приведен обзор сетей базовых станций, используемых в настоящий момент в нашей стране. Кратко описаны сферы применения сетей базовых станций и режимы работы аппаратуры. Представлена общая классификация сетей базовых станций, позволяющая провести аналогии с классами построения традиционных геодезических сетей. Описаны функционирование сети станций в общем и устройство типовой базовой станции. Показаны зоны покрытия сетями базовых станций на текущий момент на территории нашей страны. На основании детального анализа можно выделить основные проблемы: отсутствие единых требований к установке базовых станций; отсутствие требований к закреплению пунктов; отсутствие рекомендаций по плотности пунктов сети. Целью данной статьи является поиск оптимальных вариантов решения поставленных проблем. В заключение приводятся первоначальные варианты решения проблем в сфере использования сетей постоянно действующих базовых станций, а также обозначены проблемы, требующие более серьезной проработки.

**Ключевые слова:** геодезические спутниковые сети, сети базовых станций, требования к построению сетей

**USING NETWORKS OF PERMANENT BASE STATIONS INSTEAD  
OF TRADITIONAL GEODETIC NETWORKS**

<sup>1,2</sup>Makarov S.O., <sup>1,2</sup>Tikhonov A.D., <sup>2</sup>Rudchenko G.A.

<sup>1</sup>Russian University of Transport, Moscow, e-mail: makstas96@ya.ru, tikhonov78@mail.ru;

<sup>2</sup>State University of Land Management, Moscow, e-mail: rudchenkogeorg@mail.ru

**Annotation.** In this article, the issues are considered, the solution of which will allow to a greater extent to replace traditional geodetic networks with networks of permanent base stations in the production of geodetic works with satellite equipment. In this regard, a description of the base station networks and the principle of their operation is provided. An overview of the base station networks currently in use in our country is provided. The scope of application of base station networks and operating modes of the equipment are briefly described. A general classification of base station networks, which allows us to draw analogies with the classes of construction of traditional geodetic networks. The operation of both the network of stations in general and the device of a typical base station is described. The coverage areas of the base station networks are currently shown on the territory of our country. Based on a detailed analysis, the main problems can be identified: the lack of uniform requirements for the installation of base stations; the lack of requirements for fixing points; the lack of recommendations on the density of network points. The purpose of the current article is to find optimal solutions to the problems posed. In conclusion, the initial solutions to problems in the field of using networks of permanent base stations are presented, as well as problems that require more serious study.

**Keywords:** geodetic satellite networks, base station networks, network construction requirements

Спутниковые методы позиционирования стали неотъемлемой частью геодезического производства. Если раньше применяли классические методы производства геодезических работ и тратили большое количество времени, то теперь на производство требуется гораздо меньше времени [1].

Дифференциальные сети (сети постоянно действующих базовых станций) – мощный инфраструктурный продукт, состоящий из различных подсистем [2].

Сети базовых (дифференциальных) станций создаются с целью обеспечения

полями поправок. Однако на сегодняшний день не существует требований, предъявляемых к плотности пунктов и установке антенн при развитии сетей дифференциальных (базовых станций).

Цели исследования – проанализировать требования к закреплению пунктов сети постоянно действующих базовых станций, а также требования к их расположению.

**Материалы и методы исследования**

Пункты сетей базовых станций работают в круглосуточном режиме. Собранные

данные по сигналам передаются по различным каналам связи в центр управления. Специализированное программное обеспечение, установленное на сервере центра управления, выполняет обработку спутниковых измерений и формирует необходимые данные для обеспечения работы пользователей в режиме постобработки и в режиме реального времени [3, 4]. На рисунке 1 приведена обобщенная схема работы постоянно действующих базовых станций.

В качестве материалов исследования выступают сети базовых станций. Несмотря на достаточно большое количество существующих сетей референционных станций, удобнее работать со следующими:

- 1) EFT COORS;
- 2) HIVE;
- 3) SmartNet.

Сети базовых станций EFT-COORS – современный инфраструктурный проект [5]. Каждый из пунктов дифференциальной (референционной) сети оснащен современным высокоточным геодезическим приемником, а также устройством для резервного копирования и источником бесперебойного питания для поддержания работы в течение суток. Антенны спутниковой сети уста-

навливаются на специальном кронштейне, который обеспечивает жесткое крепление и несбиваемость горизонтировки. Свыше 650 станций включено в сеть EFT COORS. На рисунке 2 приведено расположение станций сети базовых станций EFT-COORS.

Система HIVE – один из мощных развивающихся проектов, насчитывающий свыше 700 станций в 79 регионах страны.

Существует возможность представления координат в 2 вариантах: в геодезической системе координат (BLH) и в системе координат ITRF2014. На рисунке 3 приведены станции системы HIVE [6].

Сеть базовых станций SmartNet по сравнению с сетями EFT COORS и HIVE имеет меньшее количество базовых станций, но стоимость подписки на выполнение работ на порядок ниже [7]. Однако результаты предоставляются только в геодезической системе координат (BLH), в отличие от предыдущих 2 базовых станций.

Также существуют и специальные геодезические сети постоянно действующих базовых станций. Так, например, к такой классификации можно отнести сеть ОАО РЖД. В качестве примера можно выделить сеть, состоящую из каркасных и опорных пунктов вокруг МЦК [8-10].

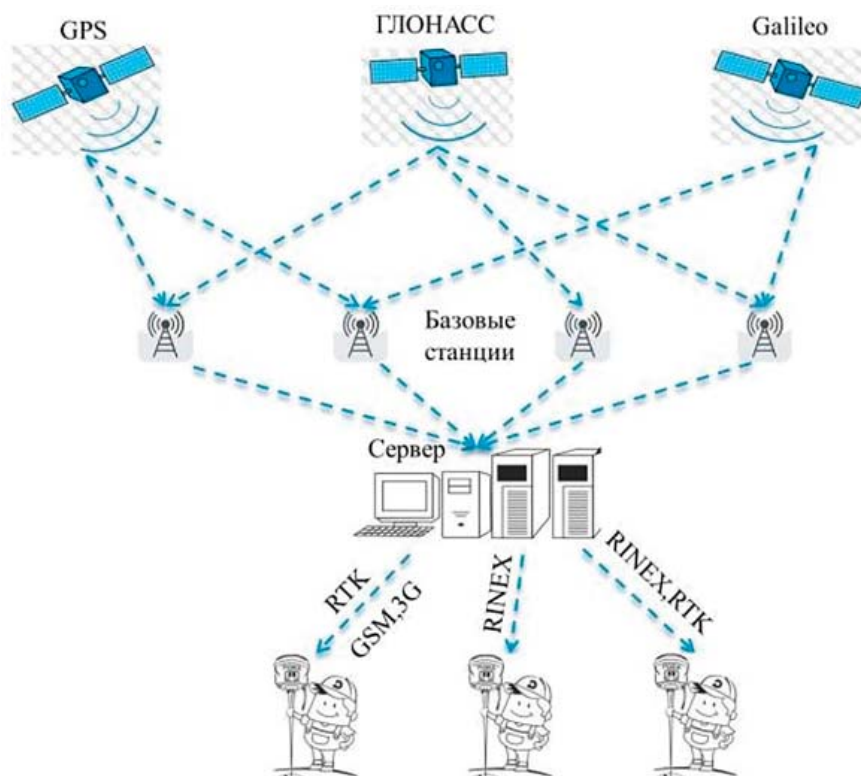


Рис. 1. Схема работы постоянно действующей базовой станции

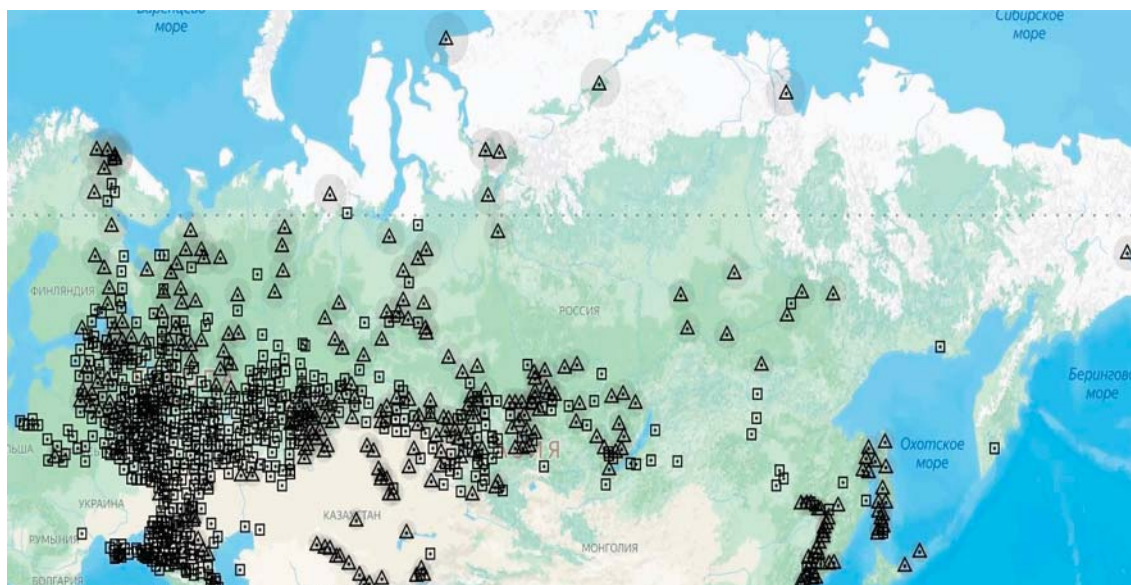


Рис. 2. Расположение постоянно действующих станций EFT COORS



Рис. 3. Расположение постоянно действующих станций HIVE

### Результаты исследования и их обсуждение

Несмотря на то что спутниковые методы позиционирования постепенно заменяют классические методы производства топографо-геодезических работ, до сих пор остаются нерешенные вопросы:

- 1) отсутствие требований к закреплению пунктов постоянно действующих сетей базовых станций;
- 2) отсутствие требований к плотности пунктов в современных реалиях; в существующих нормативных документах не освещен вопрос по поводу плотности пунктов сетей базовых станций.

Закладка новых пунктов до необходимой плотности осуществляется на основании

технического задания. В связи с тем, что антенны устанавливаются на продолжительное время и любое смещение окажет неблагоприятное влияние на точность определения координат, предлагается устанавливать антенну на специальный адаптер с жесткой фиксацией горизонтирования (рис. 4).

На сегодняшний день пункты распределены неравномерно. Так, например, на территории г. Москвы расстояние между пунктами сетей базовых станций не превышает 10 км. В обжитых районах на территории РФ расстояние между смежными пунктами составляет не более 50 км. В то же время в малообжитых районах пункты расположены на расстоянии примерно 150 км, что, по нашему мнению, является недостаточным для бесперебойного покрытия полей поправок.



Рис. 4. Устройство для установки антенн

Для примера рассмотрены основные аспекты закрепления пунктов в сравнении с пунктами ГГС. В малообжитых территориях один пункт на 50–60 км<sup>2</sup>; в труднодоступных районах 1 пункт на 75–90 км<sup>2</sup>; в обжитых районах 1 пункт на 5–15 км<sup>2</sup>.

В обжитых районах, где ГГС дополняется сетями сгущения: 1 пункт на 1 км<sup>2</sup> для незастроенной территории; 4 пункта на 1 км<sup>2</sup>

для застроенной территории. В то же время, с точки зрения СГС-1, при средней плотности сети расстояния между пунктами должно быть 25–35 км; 40–50 км в необжитых районах, кроме сейсмически активных.

#### Предлагаемые решения

По мнению авторов, оптимальным вариантом решения может быть следующее.

1. С точки зрения закрепления антенн сетей базовых станций, авторами предлагается использовать требования по закреплению центров геодезических пунктов.

2. С точки зрения плотности геодезических пунктов, рекомендуется закреплять пункты сети постоянно действующих базовых станций в диапазоне расстояний 50–60 км, поскольку в настоящее время регламентируется точность получения поправок с пунктов базовых станций не более 30 км. В настоящее время при таких параметрах обеспечивается покрытие всего лишь 30% территории страны, что, несомненно, недостаточно для бесперебойного покрытия полем поправок.

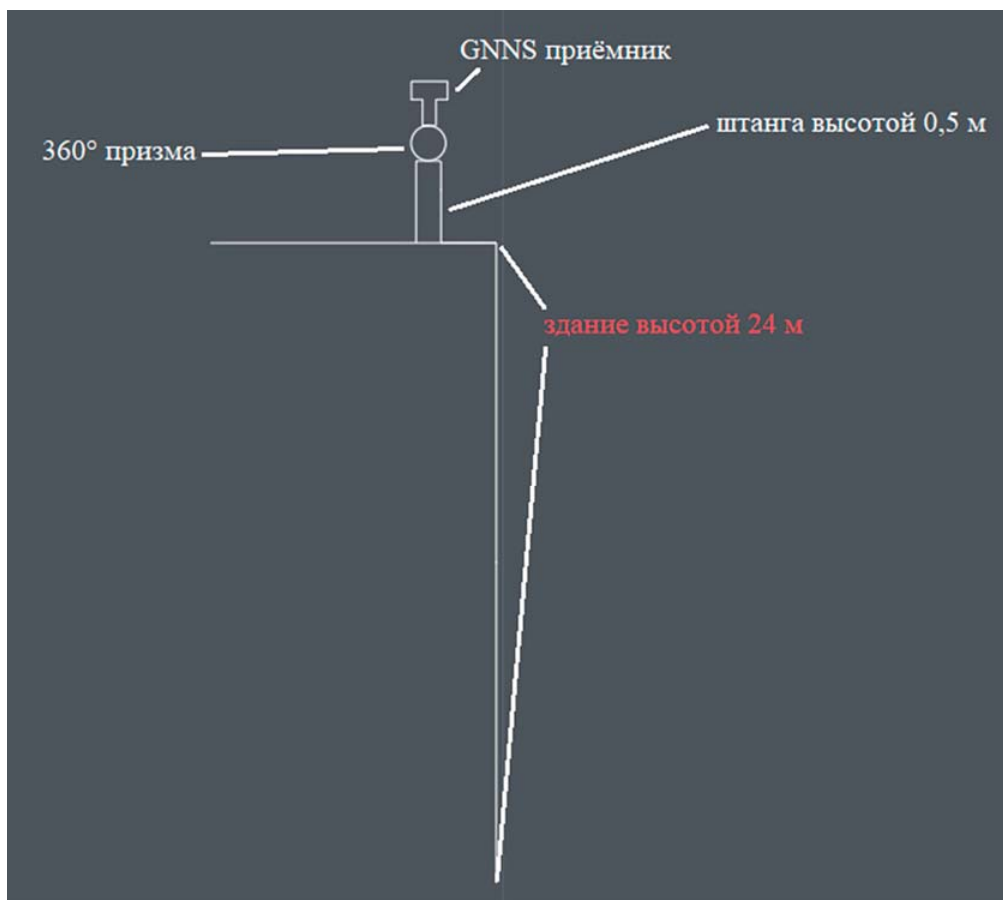


Рис. 5. Вариант базовой станции

Для постепенной замены пунктов «традиционных геодезических сетей» на пункты постоянно действующих (дифференциальных) сетей базовых станций авторами предлагаются следующие поправки в конструкцию базовых станций. На рисунке 5 приведен пример структуры базовой станции (вид сбоку).

Данная базовая станция состоит из 3 составляющих:

- 1) металлической штанги, жестко закрепленной к поверхности крыши;
- 2) 360-градусной призмы;
- 3) ГНСС-приемника, обеспеченного устройством бесперебойной работы.

Металлическая штанга необходима, чтобы была видна 360-градусная призма с поверхности земли при проложении, например, тахеометрического хода.

Благодаря использованию комбинации спутникового приемника и 360-градусной призмы появится возможность не только привязки к геодезической сети, но и отвязки от данных пунктов, что, несомненно, приведет к сокращению временных затрат на выполнение комплекса топографо-геодезических работ.

В статьях [1, 2] приводится классификация сетей базовых станций. В работах [11–13] описаны основные проблемы, связанные с сетями базовых станций. В работах [3, 14] приводится исследование на примере геодезического обеспечения сетями базовых станций на примере Республики Крым.

### Заключение

Из проведенных исследований видно, что вопросы, связанные с размещением базовых станций, требуют более тщательной проработки. Остаются неизученные вопросы, требующие углубления исследований, в части:

- 1) размещения пунктов в зависимости от плотности;
- 2) исследования влияния расстояний на точность определения координат в режиме RTK свыше 10 км;
- 3) проведения полевых и камеральных работ по определению точности в различных вариациях созвездий;

4) колебаний центра антенны в зависимости от типа закрепления и климата.

Безусловно, востребованность применения систем базовых станций (СБС) в ближайшем будущем будет способствовать проведению данных исследований.

### Список литературы

1. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Автоматизированные информационные системы управления: учебное пособие. М.: МГОУ, 2010. 80 с.
2. Тихонов А.Д., Кичатова И.М. Обзор сетей постоянно действующих базовых станций // Мир измерений. 2019. № 2. С. 26–28.
3. Гаврилова В.В., Шайтура С.В. Информационные модели данных и баз знаний в геоинформационных системах // Славянский форум. 2016. № 2 (12). С. 71–85.
4. Мутталибова Ш.Ф., Танырвердиев Ч.Г., Меджидова С.А., Литвинов Н.Ю. Оптимизация режимов функционирования RTK GPS геодезических сетей для кадастровых измерений // Геодезия и картография. 2018. № 2. С. 17–21. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-932-2-17-21.
5. Eft-Cors [Электронный ресурс]. URL: <https://eft-cors.ru/> (дата обращения: 26.02.2024).
6. Система Hive [Электронный ресурс]. URL: <https://hive.geosystems.aero/> (дата обращения: 04.01.2024).
7. SmartNetRussia [Электронный ресурс]. URL: <http://smartnet-ru.com/index.htm> (дата обращения: 04.01.2024).
8. Концепция реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога». Утверждена ОАО «РЖД» 05.12.2017 № 1285. М.: Кодекс, 2017. 92 с.
9. СП 233.132.6000.2015. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Высокоточная координатная основа Утвержден приказом Минтранса России № 191 от 17.06.2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124325> (дата обращения: 10.01.2024).
10. Приказ Минэкономразвития России «Об установлении требований к программным и техническим средствам, используемым при создании сетей дифференциальных геодезических станций» № 149 от 29.03.2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/36458> (дата обращения: 03.02.2024).
11. Розенберг И.Н. Геоинформационное моделирование как фундаментальный метод познания // Перспективы науки и образования. 2016 № 3(21). С. 12–15.
12. Булгаков С.В., Ковальчук А.К., Цветков В.Я., Шайтура С.В. Интегрированные геоинформационные системы. М.: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2007. 114 с.
13. Serpelloni E., Faccenna C., Spada G., Dong D., Williams S.D.P. Vertical GPS ground motion rates in the Euro-Mediterranean region: New evidence of velocity gradients at different spatial scales along the Nubia-Eurasia plate boundary // J. Geophys. Res. SolidEarth. 2013. Vol. 118. P. 6003–6024. DOI: 10.1002/2013JB010102.
14. Гебгарт А.А., Макаров С.О. Современное использование сетей постоянно действующих базовых станций // Славянский Форум. 2023. № 4(42). С. 386–391.

## СТАТЬЯ

УДК 639.1.055.36

DOI 10.17513/use.38257

**МОНИТОРИНГ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ЭКОСИСТЕМЫ  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО РЕЗЕРВАТА «АКЖАЙЫК»****Есенаманова Ж.С., Ажигалиева Ж.Б., Шунашева Ж.А.,****Есенаманова М.С., Тлепбергенова А.Е., Рысжан А.Е.***Атырауский университет имени Халелы Досмухамедова, Атырау, e-mail: kense@atgu.kz*

**Аннотация.** В данной статье проведен анализ по мониторинговому исследованию состояния и сохранности природных объектов Государственного природного резервата «Акжайык», расположенного в устье р. Урал и Каспийского моря. Видовой состав ихтиофауны в водоемах государственного природного резервата «Акжайык» включает 27 видов рыб, из них 17 видов промысловых. Анализ полученных за пятилетний период данных показал, что количественные характеристики зообентоса акватории исследований имеют тенденцию к уменьшению. Одной из причин низких количественных показателей организмов зообентоса являются дноуглубительные работы. Анализ состояния растительности водных и наземных экосистем показал, что существуют значительные изменения в видовом и количественном составе, связанные с неблагоприятным гидрологическим режимом. По учетам диких животных, проведенным в период с 2019 по 2023 г., наблюдается заметное увеличение численности кабана и волка. Климатические условия влияют на тюленей, так в связи с аномально теплыми и бесснежными зимами у тюленей крайне ухудшены условия воспроизводства. Анализ численности индикаторных видов птиц показывает, что уменьшается количество видов, при том что количество голов увеличивается. Причинами значительных колебаний численности биоразнообразия являются приток воды Каспийского моря, изменения береговой линии, воздействия сильных ветров, вызывающих сгонно-нагонные явления, а также сильная жара и отсутствие осадков в летние периоды и слабый снежный покров зимой на территории области.

**Ключевые слова:** мониторинговые исследования, государственный природный резерват «Акжайык», ихтиофауна, зообентос, растительность, животный мир

**MONITORING OF THE BIODIVERSITY OF THE ECOSYSTEM  
OF THE “AKZHAYYK” STATE NATURAL RESERVE****Esenamanova Zh.S., Azhigalieva Zh.B., Shunasheva Zh.A.,****Esenamanova M.S., Tlepbergenova A.E., Ryszhan A.E.***Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, e-mail: kense@atgu.kz*

**Annotation.** This article analyzes the monitoring study of the condition and preservation of natural objects of the Akzhayik State Natural Reserve, located at the mouth of the Ural River and the Caspian Sea. The species composition of the ichthyofauna in the reservoirs of the Akzhayik State Natural Reserve includes 27 species of fish, of which 17 are commercial species. An analysis of the data obtained over a five-year period showed that the quantitative characteristics of the zoobenthos of the research area tend to decrease. One of the reasons for the low level of quantitative indicators of zoobenthos organisms is dredging. An analysis of the vegetation status of aquatic and terrestrial ecosystems has shown that there are significant changes in species and quantitative composition associated with an unfavorable hydrological regime. According to the records of wild animals conducted in the period from 2019 to 2023, there is a noticeable increase in the number of wild boar and wolf. Climatic conditions affect seals, so due to abnormally warm and snowless winters, seals have extremely poor reproductive conditions. An analysis of the number of indicator bird species shows that the number of species is decreasing, while the number of heads is increasing. The reasons for significant fluctuations in the number of biodiversity are the inflow of water from the Caspian Sea, changes in the coastline, the effects of strong winds causing overburden phenomena, as well as intense heat and lack of precipitation in summer and weak snow cover in winter in the region.

**Keywords:** monitoring studies, the Akzhayik State Nature Reserve, fish fauna, zoobenthos, vegetation, wildlife

Постановлением Правительства РК № 119 6 февраля 2009 г. создан Государственный природный резерват «Акжайык». Общая площадь резервата составляет 111,5 тыс. га.

В основном он делится на 3 зоны:

1. Охранная зона – 29346 га.
2. Буферная зона – 75423 тыс. га.
3. Зона ядра – 36077 га.

Государственный природный резерват «Акжайык» считается особо охраняемой

природной территорией в соответствии со ст. 50 Закона «Об особо охраняемых природных территориях», природоохранным и научным учреждением, в том числе природоохранной и водной экологической направленности, целью которого является сохранение, охрана и восстановление историко-культурных объектов и биоразнообразия.

Главной задачей государственного резервата является мониторинг уникальной

экосистемы устья р. Урал, впадающей в Каспийское море, а также экологическое просвещение по обеспечению охраны биоразнообразия животных, птиц, рыб, развитие туристского кластера [1, с. 15–20].

Резерват республиканского значения был включен в список Рамсарской конвенции Международной охраны природы 10 марта 2009 г. и Боннской конвенции 18 мая 2007 г. 12 июня 2014 г. резерват был внесен в список ЮНЕСКО и получил статус международного биосферного резервата по программе «Человек и биосфера».

Основная деятельность государственно-природного резервата:

- сохранение и восстановление биологического и ландшафтного многообразия, природных экологических систем;
- обеспечение охранного режима государственного природного резервата;
- поддержка устойчивого социально-экономического развития территории на основе эколого-экономического принципа использования природных ресурсов;
- проведение исследований и мониторинга в целях охраны и устойчивого развития территории, а также экологического просвещения и воспитания [2, с. 7, 8, 10, 17, 19, 28–39].

Основной целью научных исследований в ГПР «Акжайык» является мониторинг состояния и сохранности природных комплексов.

#### Материалы и методы исследования

Научно-исследовательская охота проводилась с мая по август 2022–2023 гг.

Сети, используемые для рыбалки, использовались более 12 ч. Параметры: длина 25 м, высота 2 м. Ход всех работ задокументирован записями и фотографиями. На пойманную рыбу составлен акт. Все пойманные рыбы проходят полный биологический анализ, после чего уничтожаются. Обработка ихтиологического материала проводилась по общепринятому методу [3, с. 25–32].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Особо охраняемая природная территория является важным участком естественного воспроизводства уникальных биологических ресурсов в пределах природного резервата «Акжайык», Каспийского моря и р. Урал. Нижнее течение и дельта р. Урал, в том числе на границе государственного природного резервата «Акжайык», в период нереста рыбы является миграционным пу-

тем ценных переходных и полупереходных видов урало-каспийских рыб.

Видовой состав ихтиофауны в водоемах государственного природного резервата «Акжайык» включает 27 видов рыб, из них 17 видов промысловых. В настоящее время основными промысловыми рыбами в дельте р. Урал являются сазан (*Cyprinus carpio* L., 1758), вобла (*Rutilus caspicus* Jakowlew, 1870), лещ (*Abramis brama* L., 1758), карась (*Carassius gibelio* Bloch, 1782), судак (*Sander lucioperca* L., 1758), жерех (*Aspius aspius* L., 1758) [4, с. 78–84].

Учитывая особую важность этого региона для комфортной жизни рыб на просторах р. Урал до устья, на территории государственного природного резервата «Акжайык» совместно с Атырауским филиалом ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства» организовано научное рыболовство.

На биоразнообразие ихтиофауны дельты р. Урал сильно влияют повторяющиеся порывистые ветры, а также изменение кислородного режима воды р. Урал (летние и зимние заморозки), что может привести к кислородному голоданию и гибели рыб [5].

Чаще всего гибель рыб происходит в зимне-весенний период (январь – апрель) и связана с продолжительными сильными морозами, способствующими замерзанию воды.

Государственными инспекторами учреждения в зимние месяцы 2022–2023 гг. ежедневно в целях предупреждения опасности замора и гибели рыб на территории резервата проводились работы по резке майны на водоемах, в каналах, рыбопереходах для подачи кислорода. Ежедневно измеряли толщину льда. В 2022–2023 гг. на территории резервата не зафиксированы факты замора и гибели рыбы [6].

Анализ полученных за пятилетний период данных показал, что количественные характеристики зообентоса акватории исследований (табл. 1, 2) имеют тенденцию к уменьшению.

Этому способствует непростой гидролого-гидрохимический режим дельты и взморья Урала [7]. В последние годы чередование сгонов-нагонов и изменение уровня моря (при отсутствии должной мелиорации) ведет к обмелению некоторых ериков дельты, чему сопутствуют возникающие процессы эвтрофикации и что приводит, в свою очередь, к возникновению локальных заморозов как летнего, так и зимнего происхождения [8].

Таблица 1

Таксономический состав зообентоса в низовьях и дельте р. Урал  
на акватории резервата «Акжайык» в 2019–2023 гг.

Организмы зообентоса	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
<i>Demospongiae</i>					
<i>Metschnikowia tuberculata</i> Grimm	+	+	+		
Всего <i>Demospongiae</i> 1	1	1	1	0	0
<i>Vermes</i>					
<i>Hypaniola kowalewskii</i> (Grimm)	+	+	+	+	+
<i>Mercierella enigmatica</i> Fauvel	+	+		+	+
<i>Oligochaeta gen. sp.</i>	+	+	+	+	+
<i>Archaeobdella esmonti</i> Grimm		+			
<i>Piscicola caspica</i> Salensky	+	+			
<i>Glasciphonia sp.</i>		+			
<i>Helobdella sp.</i>		+			
<i>Acanthobdella peledina</i> Grube	+				
<i>Hirudinea gen.sp.</i>	+	+			
<i>Glassiphonia complanata</i> Linne	+	+			
<i>Hediste deversicolor</i> O.F. Muller	+			+	
<i>Hemiclepsis marginata</i> O.F. Muller	+				
Всего <i>Vermes</i> 15	9	9	2	4	3
<i>Crustacea</i>					
<i>Pterocuma pectinata</i> (Sowinsky)		+		+	
<i>Corophium curvispinum</i> G.O. Sars	+	+	+		+
<i>Corophium mucronatum</i> G.O. Sars		+	+	+	
<i>Katamysis warpachowskyi</i> G.O. Sars	+				+
<i>Corophium sp.</i>	+	+			
Всего <i>Crustacea</i> 10	3	4	2	2	2
<i>Insecta</i>					
<i>Cyrnus flavidus</i> (McLachlan)	+	+	+		+
<i>Heleidae sp.</i>		+			+
<i>Chironomidae pupae gen.sp.</i>	+	+	+	+	+
<i>Chironomidae larvae gen. sp.</i>	+	+	+	+	+
Всего <i>Insecta</i> 10	3	4	3	2	4
<i>Mollusca</i>					
<i>Anodonta cygnea</i> L.	+				
<i>Dreissena polymorpha</i> (Pall.)	+				
Всего <i>Mollusca</i> 4	2	0	0	1	
<i>Mysidacea</i>					
<i>Hemimysis anomala</i> (G.O. Sars)					+
Всего <i>Mysidacea</i> 1					1
Всего таксонов 41	18	18	8	9	10



Таблица 2

Таксономический состав зообентоса в Зюйд-Вестовых Шалыгах на 2019–2023 гг.

Организмы зообентоса	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
<i>Demospongiae</i>					
<i>Metschnikowia tuberculata</i> Grimm					
Всего <i>Demospongiae</i> 1	0	0	0	0	
<i>Vermes</i>					
<i>Hypaniola kowalewskii</i> (Grimm)	+	+	+		+
<i>Mercierella enigmatica</i> Fauvel					
<i>Oligochaeta</i> gen. sp.	+	+	+	+	+
<i>Hediste deversicolor</i> O.F. Muller	+		+	+	+
Всего <i>Vermes</i> 4	3	2	3	2	3
<i>Crustacea</i>					
<i>Pterocuma pectinata</i> (Sowinsky)	+	+		+	+
<i>Schizorhynchus eudorelloides</i> (G.O. Sars)					
<i>Niphargoides (Niphargoides) corpulentus</i> G.O. Sars					
<i>Stenogammarus (Stenogammarus) deminutus</i> (Stebbing)					
<i>Corophium curvispinum</i> G.O. Sars		+			
<i>Corophium muckronatum</i> G.O. Sars				+	
<i>Katamysis warpachowskyi</i> G.O. Sars					
<i>Niphargoides (Stenogammarus) similis</i> G.O. Sars					
<i>Gammarus</i>					+
Всего <i>Crustacea</i> 8	1	2	0	2	2
<i>Insecta</i>					
<i>Chironomidae pupae</i> gen.sp.					
<i>Chironomidae larvae</i> gen. sp.	+	+			
Всего <i>Insecta</i> 2	1	1			
Всего таксонов 15	4	5	3	4	5

Одной из причин низких количественных показателей организмов зообентоса являются дноуглубительные работы на каналах Правый Яицкий, Зарослый и Приморский. В районах дноуглубления происходит механическое уничтожение зообентоса, приводящее к уменьшению видовой разнообразия, численности и биомассы и, как следствие, к недостатку кормовой базы для рыб-бентофагов. Самое долгое восстановление будет испытывать зообентос, потому что для него нужна спокойная среда. После дноуглубления он сможет восстановиться в течение трех-пяти лет, если другого антропогенного воздействия не наблюдается.

Виды растений, с которыми встречались при мониторинге растительного мира государственного природного резервата «Акжайык», представлены в табл. 3.

Состояние растительности на территории резервата «Акжайык»: за последние

5 лет уменьшилось их количество на мониторинговых площадках. Рост растений снизился из-за засухи и пожаров летом.

Основными природными факторами, определяющими распределение и состав растительных сообществ, являются: сухость климата, высокие летние и низкие зимние температуры воздуха, засоление почв, низкое естественное плодородие почв, а также геоморфологические и геологические особенности территории, снижение и повышение уровня воды Каспийского моря.

Проводя сравнительный анализ состояния растительности водных и наземных экосистем, можно сказать, что в первую очередь существуют значительные изменения в видовом и количественном составе, связанные с неблагоприятным гидрологическим режимом. На мониторинговых площадках 1, 2, 3, 5, 7 большая часть растений находится в неудовлетворительном состоянии.

Таблица 3

## Растительный мир государственного природного резервата «Акжайык»

№ п/п	Виды растения	Годы				
		2019	2020	2021	2022	2023
1.	Стрелолист трилистный <i>Sagittarian trifolia</i> L.	+	+	+		
2.	Цинанхум сибирский <i>Cynanchum sibiricum</i> Willd.	+	+	+		
3.	Полынь песчаная <i>Artemisia arenaria</i> D.C.	+	+	+	+	+
4.	Полынь Лерховская <i>Artemisia lerchiana</i> Web. ex Stechm.	+	+	+	+	
5.	Бодяк полевой <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	+	+	+		
6.	Бодяк щетинистый <i>Cirsium setosum</i> (Wild.) Bess.	+	+	+	+	
7.	Карелиния каспийская <i>Karelinia caspia</i> (Pall.) Less.	+	+	+	+	+
8.	Латук татарский <i>Lactuca tatarica</i> (L.) C.A.Mey	+	+	+	+	+
9.	Крестовник Ноевский <i>Senecio noeanus</i> Rupr.	+	+	+	+	+
10.	Одуванчик обыкновенный <i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	+	+	+	+	+
11.	Дурнишник обыкновенный <i>Xanthium strumarium</i> L.	+	+	+	+	+
12.	Аргузия сибирская <i>Argusia sibirica</i> (L.) Dandy	+	+	+	+	+
13.	Клоповник пронзеннолистный <i>Lepidium perfoliatum</i> L.					+
14.	Сусак зонтичный <i>Butomus umbellatus</i> L.	+	+	+	+	
15.	Лебеда Аушера <i>Atriplex auscherii</i> (A. amblyostegia) Moq.	+	+	+	+	+
16.	Лебеда гладкая <i>Atriplex laevis</i> C.A. Mey	+				
17.	Лебеда татарская <i>Atriplex tatarica</i> L.	+	+	+	+	
18.	Рогач песчаный <i>Ceratocarpus arenarius</i> L.					+
19.	Марь белая <i>Chenopodium album</i> L.				+	+
20.	Марь сизая <i>Chenopodium glaucum</i> L.				+	+
21.	Климакоптера супротивнолистная <i>Climacoptera brachiata</i> (Pall.) Botsch.	+	+	+		
22.	Климакоптера мясистая <i>Climacoptera crassa</i> (M.Bieb.) Botsch.	+	+	+	+	+
23.	Климакоптера шерстистая <i>Climacoptera lanata</i> (Pall.) Botsch.	+	+	+		
24.	Соляноколосник каспийский <i>Halostachys caspica</i> (Bieb.) C.A.Mey	+	+		+	+
25.	Поташник каспийский <i>Kalidium caspicum</i> (L.) Ung.-Sternb.	+	+	+		
26.	Петросимония раскидистая <i>Petrosimonia brachiata</i> (Pall.) Bunge	+	+	+	+	
27.	Петросимония супротивнолистная <i>Petrosimonia oppositifolia</i> (Pall.) Litv.	+	+	+	+	

Продолжение табл. 3

№ п/п	Виды растения	Годы				
		2019	2020	2021	2022	2023
28.	Солерос европейский <i>Salicornia europaea</i> L.	+	+	+	+	+
29.	Солянка олиственная <i>Salsola foliosa</i> (L.) Schrad.	+	+			
30.	Солянка содовая <i>Salsola soda</i> L.	+	+	+	+	
31.	Сведа заостренная <i>Suaeda acuminata</i> (C.A.Mey.) Moq.	+	+	+		
32.	Вьюнок полевой <i>Convolvulus arvensis</i> L.	+	+	+	+	+
33.	Клубнекамыш морской <i>Bolboschoenus maritimus</i> (L.) Palla	+	+	+		+
34.	Камыш озерный <i>Scirpus lacustris</i> L.	+	+	+	+	+
35.	Лох остроплодный <i>Elaeagnus oxycarpa</i> Schlecht.	+	+	+	+	+
36.	Хвощ полевой <i>Equisetum arvense</i> L.	+	+	+		
37.	Молочай болотный <i>Euphorbia palustris</i> L.				+	
38.	Верблюжья колючка обыкновенная <i>Alhagi pseudalhagi</i> (M. Bieb.) Fish.	+	+	+	+	+
39.	Солодка голая <i>Glycyrrhiza glabra</i> L.	+	+	+	+	+
40.	Клевер земляничный <i>Trifolium fragiferum</i> L.	+	+	+	+	
41.	Вексия лисохвостная <i>Vexibia alopecuroides</i> (L.) Jakovl.	+	+	+	+	+
42.	Уруть мутовчатая <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	+	+	+		
43.	Ситник Жерара <i>Juncus gerardii</i> Loisel.	+	+	+		
44.	Ряска маленькая <i>Lemna minor</i> L.	+	+	+		
45.	Ряска тройчатая <i>Lemna triscula</i> L.	+	+	+		
46.	Кермек Гмелина <i>Limonium gmelinii</i> (Willd.) O. Kuntze	+	+	+	+	+
47.	Дербенник прутовидный <i>Lythrum virgatum</i> L.	+	+	+	+	+
48.	Алтей аптечный <i>Althaea officinalis</i> L.	+	+	+		+
49.	Селитрянга Шобера <i>Nitraria schoberi</i> L.	+	+	+	+	+
50.	Гармала обыкновенная (адраспан) <i>Peganum harmala</i> L.	+	+	+		
51.	Подорожник большой <i>Plantago major</i> L.	+	+	+	+	+
52.	Прибрежница солончаковая <i>Aeluropus littoralis</i> (Gouan.) Parl.	+	+	+	+	+
53.	Костер кровельный <i>Anisantha tectorum</i> (L.) Nevski				+	
54.	Вейник наземный <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	+	+	+	+	+
55.	Мортук восточный <i>Eremopyrum orientale</i> (L.) Jaub. et Spach	+	+	+		
56.	Мортук пшеничный <i>Eremopyrum triticeum</i> (Gaertn.) Nevski	+	+	+	+	+

№ п/п	Виды растения	Годы				
		2019	2020	2021	2022	2023
57.	Тростник австралийский <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	+	+	+	+	+
58.	Горец птичий <i>Polygonum aviculare</i> L.	+	+	+		+
59.	Рдест злаковый <i>Potamogeton gramineus</i> L.	+	+	+		
60.	Рдест стеблеобъемлющий <i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	+	+	+		
61.	Рогозавник пряморогий <i>Ceratocephalus testiculatus</i> (Crantz) Bess.				+	
62.	Ива белая <i>Salix alba</i> L.	+	+	+	+	+
63.	Ива каспийская <i>Salix caspica</i> Pall.	+	+	+	+	+
64.	Сальвиния плавающая <i>Salvinia natans</i> (L.) All.			+	+	+
65.	Белена крошечная <i>Hyoscyamus pusillus</i> L.				+	+
66.	Паслен сладко-горький <i>Solanum dulcamara</i> L.	+	+	+		
67.	Паслен черный <i>Solanum nigrum</i> L.	+	+	+	+	+
68.	Ежеголовка побегоносная <i>Sparganium stoloniferum</i> (Graebn.) Buch.-Ham. ex Jus	+	+	+		
69.	Гребенщик щетинистоволосый <i>Tamarix hispida</i> Willd.	+	+	+	+	+
70.	Орех казахстанский <i>Trapa kasachstanica</i> V. Vassil.	+	+	+	+	+
71.	Рогоз узколистный <i>Typha angustifolia</i> L.	+	+	+	+	+
72.	Рогоз широколистный <i>Typha latifolia</i> L.	+	+	+	+	
73.	Вяз карликовый 225 <i>Ulmus pumila</i> L.	+	+	+	+	+
74.	Заннихелия стебельчатая <i>Zannichellia pedunculata</i> Reichb.			+	+	+
75.	Парнолистник обыкновенный <i>Zygophyllum fabago</i> L.	+	+	+	+	+
Всего		65	64	64	52	52

В 2019–2023 гг. были виды, характеризующиеся в лучшем случае выраженной экологической гибкостью: тростник обыкновенный, полынь, тамариск. Эти виды отличаются широкой амплитудой устойчивости к влажности почвы и уровню засоления.

Динамика численности животных по итогам года на территории ООПТ на 2019–2023 гг. представлена в табл. 4.

По учетам диких животных, проведенным в период с 2019 по 2023 г., наблюдается заметное увеличение численности кабана и волка. Уменьшение количества осадков и солнечной жары, а также оттока воды Каспийского моря из-за сильных ветров,

изменения береговой линии, пересыхание водно-болотных угодий влекут за собой сокращение земель, где раньше обитали териофауна и орнитофауна, сокращение численности некоторых птиц и животных. В основном колебания численности животных зависят от климатических условий и достаточности кормовой базы. Например, ондатр сильно зависит от уровня воды в водохранилище, а проблемы постоянного дефицита воды в бассейне Каспийского моря общеизвестны, в результате чего площадь обитаемой зоны уменьшается, что влияет на воспроизводство, соответственно, ухудшается кормовая база.

Таблица 4

Численность животных по итогам года на территории ООПТ за 2019–2023 гг.

№ п/п	Виды	Годы				
		2019	2020	2021	2022	2023
1	Кабан	240	272	294	582	470
2	Волк	58	60	86	380	310
3	Лисица	62	82	91	72	64
4	Заяц-русак	84	86	60	36	26
5	Енотовидная собака	182	191	60	370	325
6	Горноста́й	435	402	420	360	258
7	Шакал	–	–	42	250	348
8	Ондатр	6360	6000	5775	4960	–
9	Барсук	64	65	42	39	–
10	Каспийский тюлень	–	–	1500	330	–

Так же негативно климатические условия влияют на тюленей: в связи с аномально теплыми и бесснежными зимами у тюленей крайне ухудшены условия воспроизводства. Все более и более приближенные к береговым линиям по кромке ледяного покрова ценные залежки и отсутствие снежного покрова увеличивают риск встречи с хищными животными и птицами, что грозит как прямым физическим уничтожением, особенно щенков тюленей, так и заражением плотоядными болезнями. Сухопутные животные меньше ощущают на себе эти климатические изменения.

Анализ численности индикаторных видов птиц, полученных по результатам проведения мониторингового контроля птиц на территории резервата «Акжайык» в период с 2019 по 2022 г.:

2019 г. – 124 вида – 49224 голов;

2020 г. – 124 вида – 52579 голов;

2021 г. – 86 видов – 83773 голов;

2022 г. – 82 вида – 92642 голов.

По результатам мониторинговых работ можно сделать следующие выводы: в связи со снижением уровня Каспийского моря произошли серьезные изменения в биотопах прибрежной зоны [9, с. 36–42]. Пути миграции птиц в междурыдьях, глубоко проникающих в море, изменились, а в некоторых местах была замечена тростниковая растительность береговой линии [10]. Поменялись места кормления птиц. Это не означает, что их количество в целом уменьшается, но они встречаются реже. Возможно, они изменили прежние места полетов и кластеры осенних полетов из-за ухудшения кор-

мовой базы. Из-за увеличения мелководной зоны, прилегающей к морю, серый гусь, что был редкостью в период с 2011 по 2015 г., стал встречаться все чаще

Отметим, что в 2020 г. было 7 пожаров площадью 3259,9 га; в 2021 г. – 3 пожара площадью 3297 га; в 2022 г. – 3 пожара площадью 2118,4 га. В местах, где произошел пожар, может сократиться ареал обитания диких животных. Тростниковые заросли являются местами гнездования некоторых птиц, защитной средой и кормовой базой для млекопитающих, таких как кабан, енотовидная собака.

Кроме того, следует отметить антропогенные факторы, оказывающие неблагоприятное воздействие на биоразнообразие. Среди них незаконная рыбалка, дноуглубительные работы, воздействие на птиц лодок на подвесных моторах, в том числе звука, гула.

### Заключение

На основании данных, полученных по вышеуказанным научным исследовательским работам и мониторинговому контролю за 2019–2023 гг. государственного природного резервата «Акжайык» и прилегающей к нему территории, можно сказать, что состояние биоразнообразия подвергается значительным колебаниям за счет притока воды Каспийского моря, изменений береговой линии, воздействия сильных ветров, вызывающих сгонно-нагонные явления, а также сильной жары и отсутствия осадков в летние периоды и слабого снежного покрова зимой на территории области.

**Список литературы**

1. Методические рекомендации по ведению мониторинга компонентов биоразнообразия дельты р. Урал с прилегающим побережьем Каспийского моря в пределах проектной территории. Астана, 2007. 35 с.
2. Биологическое обоснование «Определение рыбопродуктивности рыбохозяйственных водоемов и/или их участков, разработка биологических обоснований ОДУ и ОППТ, режиму и регулированию рыболовства на водоемах международного, республиканского и местного значений Жайык-Каспийского бассейна». Атырау, 2019. 56 с.
3. Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 163 с.
4. Засосов А.В. Динамика численности промысловых рыб. М.: Пищевая промышленность, 1976. 312 с.
5. Yessenamanova M.S., Kulzhanova G., Tlepbergenova A.E., Yessenamanova Z.S., Bатырбайева G. Environmental monitoring of water quality in the interstate Ural river // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 1889 (3). 032007. [Электронный ресурс]. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1889/3/032007> (дата обращения: 23.02.2024). DOI: 10.1088/1742-6596/1889/3/032007.
6. Имангазиева З.Б. Состояние ихтиофауны ООПТ ГПР «Акжайык» // Республиканская научно-практическая конференция, посвященная 20-летию Иле-Алатауского ГНПП: сборник материалов (Алматы, 18–19 мая 2016 г.). Алматы, 2016. С. 91–94.
7. Yessenamanova M.S., Sangajieva L.K., Yessenamanova Z.S., Tlepbergenova A.E. Migratory activity at the landfill site of microelements of the caspian depression // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2020. № 1 (439). С. 155–163.
8. Мовчан В.Н., Амонуллоев О.Х. Сравнительная оценка экологической ситуации в Приаралье и Прикаспии (Казахстан) // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 3–4. С. 623–626.
9. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан. Министерство энергетики Республики Казахстан, РГП «Казгидромет». Выпуск № 3 (209). Март 2017. 180 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2018/03/byulleten\\_rk\\_2017\\_03\\_mart\\_russ\\_.pdf](http://ecogofond.kz/wp-content/uploads/2018/03/byulleten_rk_2017_03_mart_russ_.pdf) (дата обращения: 17.02.2024).
10. Yessenamanova M.S., Bissenov U.K., Nurgazy K.S., Dyussegaliev M.Z., Makhambet M. Physical and chemical properties of soils and plant biology of the territory of Atyrau region // *AIP Conference Proceedings*. 2021. 2402. 060002. URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2402/1/060002/608247/Physical-and-chemical-properties-of-soils-and?redirectedFrom=fulltext> (дата обращения: 20.02.2024). DOI: 10.1063/5.0071775.