



ИД «Академия Естествознания»

# УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 3 2024



# ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 3 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.Б.* (Белгород); д.т.н., доцент *Кузьяков О.Н.* (Тюмень); д.г.-м.н., проф. *Кучеренко И.В.* (Томск); д.б.н., проф. *Ларионов М.В.* (Саратов); д.г.-м.н., проф. *Лебедев В.И.* (Кызыл); д.ф.-м.н., проф. *Лерер А.М.* (Ростов-на-Дону); д.г.н., проф. *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. *Ширянов Д.Ш.* (Улан-Удэ); д.т.н., проф. *Шнишелова 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

29.03.2024

Дата выхода номера

30.04.2024

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

17,0

Тираж

1000 экз.

Заказ

УСЕ 2024/3

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.,

## EXECUTIVE SECRETARY

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

Dudkina N.A.

## 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	29.03.2024
Format	60x90 1/8
Circulation	1000 copies
Telephone	+7 (499) 705-72-30
Number issue date	30.04.2024
Conditionally printed sheets	17,0
Order	YCE 2024/3

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)

#### СТАТЬИ

ВЛИЯНИЕ АНТОФИЛЬНЫХ НАСЕКОМЫХ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ГРЕЧИХИ ПОСЕВНОЙ ( <i>FAGOPYRUM ESCULENTUM</i> MOENCH)	8
<i>Зыков И.Е., Алексеев М.Е., Ежкова В.Г., Хотулева О.В.</i>	
КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА СОРТА ПО ОДНОМУ ИЛИ НЕСКОЛЬКИМ ПРИЗНАКАМ	14
<i>Сумина А.В., Полонский В.И.</i>	

#### НАУЧНЫЙ ОБЗОР

ОБ ЭТАПАХ ИНТРОДУКЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ БУРЯТИИ (С ДРЕВНИХ ВРЕМЕН ДО НАЧАЛА XVIII ВЕКА)	20
<i>Дабиева У.М.</i>	

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

#### СТАТЬИ

ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИЮ МУЗЕЯ- ЗАПОВЕДНИКА «ТОМСКАЯ ПИСАНИЦА» КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ	25
<i>Брель О.А., Кайзер Ф.Ю., Конева О.П., Панфиленко С.А., Чернов Д.А.</i>	
АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ ГОРНЫХ КРИОГЕННЫХ СИСТЕМ НА ФОНЕ БЫСТРОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА	33
<i>Калов Р.О., Федченко Л.М.</i>	
ОЦЕНКА ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ВСЕСЕЗОННОГО ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА «МАМИСОН»	41
<i>Кондратьева Н.В., Керефова З.М.</i>	
ПЕШЕХОДНО-ПРОМЕНАДНЫЙ КАРКАС КАК ЭЛЕМЕНТ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ МАЛЫХ ГОРОДОВ И ПОСЕЛЕНИЙ	46
<i>Коньшев Е.В., Турханова С.Ю.</i>	
ОЦЕНКА СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЛИСТОВОГО ОПАДА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА ГОРОДА УФА)	52
<i>Насырова Э.С., Кальсин Н.А., Кострюкова Н.В., Султанова Д.С.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРА ПО ДОБЫЧЕ ГИПСА НА СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА (НА ПРИМЕРЕ ХОЛМОГОРСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)	58
<i>Наход В.А., Малов А.И., Дружинин С.В.</i>	

НАУЧНО-ПРИКЛАДНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ОРГАНИЗМА ДЛЯ  
СМЯГЧЕНИЯ ОСТРОТЫ ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*Несговорова Н.П., Савельев В.Г.* ..... 68

ДИНАМИЧЕСКИЕ ВЗАИМОПЕРЕХОДЫ ТИПИЧНЫХ И АНОМАЛЬНЫХ  
ПРОЦЕССОВ В РАЗВИТИИ ГЕОСИСТЕМ ТИХООКЕАНСКОЙ РОССИИ

*Скрыльник Г.П.* ..... 74

ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ОХОТНИЧЬЕГО ТУРИЗМА НА СЕВЕРЕ  
РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ

*Урбанова Ч.Б., Бабилов В.А., Маладаева О.К.* ..... 81

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОГО  
ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ РОСТОВА-НА-ДОНУ В ПЕРИОД С 1984 ПО 2023 ГОД  
(ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ)

*Шехурдин Г.Р., Скляренко Г.Ю.* ..... 87

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ КАК ИНСТРУМЕНТ  
УСТОЙЧИВОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО  
РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Ядрихинский И.В., Егоров А.В., Протопопов С.С.* ..... 94

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

**СТАТЬИ**

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ  
ФОСФОРИТОВОЙ РУДЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗГОНКИ ЖЕЛТОГО ФОСФОРА

*Бобков В.И., Быков А.А., Незамаев С.В.* ..... 100

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ  
ЗЕМЕЛЬ МАЛЫХ РАЗРЕЗОВ ЯКУТИИ

*Заровняев Б.Н., Шубин Г.В., Антеева С.П.* ..... 108

ОЧИСТКА ПРИРОДНОЙ ВОДЫ РЕКИ ТУРА

*Качалова Г.С., Агейкина О.В., Голянская С.А.* ..... 114

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ В 2022 ГОДУ

*Красильников П.А., Аброськин О.Д., Красильникова С.А.,  
Ашихмин С.Г., Батракова Г.М., Тагильцев С.Н.* ..... 120

ПЕРЕРАБОТКА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПОЗИТ

*Местников А.Е.* ..... 126

РЕАГЕНТНАЯ ОБРАБОТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД  
АЛЮМОСОДЕРЖАЩИМИ КОМПЛЕКСНЫМИ КОАГУЛЯНТАМИ-  
ФЛОКУЛЯНТАМИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

*Старостина И.В., Локтионова Е.В., Кирюшина Н.Ю.,  
Макридина Ю.Л., Лифинцев А.Н.* ..... 131

## CONTENTS

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

#### ARTICLES

- THE INFLUENCE OF ANTHOPHILIC INSECTS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF BUCKWHEAT (*FAGOPYRUM ESCULENTUM MOENCH*)  
*Zykov I.E., Alekseev M.E., Ezhkova V.G., Khotuleva O.V.* ..... 8
- A COMPLEX INDICATOR OF THE QUALITY OF A VARIETY ACCORDING TO ONE OR MORE CHARACTERISTICS  
*Sumina A.V., Polonskiy V.I.* ..... 14

#### REVIEW

- ABOUT THE STAGES OF INTRODUCTION IN THE TERRITORY OF BURYATIA (FROM ANCIENT TIMES TO THE THE BEGINNING OF THE XVIII CENTURY)  
*Dabieva U.M.* ..... 20

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

#### ARTICLES

- ASSESSMENT OF THE RECREATIONAL LOAD ON THE MUSEUM-RESERVE TERRITORY «TOMSKAYA PISANITSA» IN THE KEMEROVO REGION  
*Brel O.A., Kaizer Ph. Yu., Koneva O.P., Panfilenko S.A., Chernov D.A.* ..... 25
- ANALYSIS OF TRENDS IN THE TRANSFORMATION OF MOUNTAIN CRYOGENIC SYSTEMS AT THE BACKGROUND OF RAPID CLIMATE WARMING.  
*Kalov R.O., Fedchenko L.M.* ..... 33
- ASSESSMENT OF AVALANCHE DANGER ON THE TERRITORY OF ALL-SEASON TOURIST AND RECREATIONAL COMPLEX “MAMISON”  
*Kondrateva N.V., Kerefova Z.M.* ..... 41
- PEDESTRIAN AND PROMENADE FRAMEWORK AS AN ELEMENT OF THE TOURIST AND RECREATIONAL INFRASTRUCTURE OF SMALL TOWNS AND SETTLEMENTS  
*Konyshev E.V., Turkhanova S.Yu.* ..... 46
- ASSESSMENT OF URBANIZED AREA LEAF LITTER SORPTION PROPERTIES (ON THE EXAMPLE OF THE UFA CITY CENTRAL DISTRICT)  
*Nasyrova E.S., Kalsin N.A., Kostryukova N.V., Sultanova D.S.* ..... 52
- STUDY OF THE NEGATIVE IMPACT OF GYPSUM QUARRY DEVELOPMENT ON THE COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS AND SOIL COVER (ON THE EXAMPLE OF KHOLMOGORSKY DISTRICT OF ARKHANGELSK REGION)  
*Nakhod V.A., Malov A.I., Druzhinin S.V.* ..... 58

SCIENTIFIC AND APPLIED JUSTIFICATION FOR USING  
THE POTENTIAL OF PLANT ORGANISM TO MITIGATE  
THE ACUTUALITY OF THE PROBLEM OF CLIMATE CHANGE

*Nesgovorova N.P., Savelev V.G.* .....68

DYNAMIC TRANSITIONS OF TYPICAL AND ANOMAL PROCESSES  
IN THE DEVELOPMENT OF GEOSYSTEMS IN PACIFIC RUSSIA

*Skrylnik G.P.* .....74

OPPORTUNITIES FOR DEVELOPING HUNTING TOURISM  
IN THE NORTH OF THE REPUBLIC OF BURYATIA

*Urbanova Ch.B., Babikov V.A., Maladaeva O.K.* .....81

PECULIARITIES OF FORMATION AND DEVELOPMENT OF THE URBAN  
THERMAL FIELD OF ROSTOV-ON-DON IN THE PERIOD FROM 1984  
TO 2023 (ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA)

*Shekhurdin G.R., Sklyarenko G.Yu.* .....87

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AS A TOOL FOR SUSTAINABLE  
SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE REGIONS  
OF THE RUSSIAN FEDERATION

*Yadrikhinskiy I.V., Egorov A.V., Protopopov S.S.* .....94

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

**ARTICLES**

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL INDICATORS OF PHOSPHORITE  
ORE PROCESSING FOR YELLOW PHOSPHORUS ELECTROWINNING

*Bobkov V.I., Bykov A.A., Nezamayev S.V.* .....100

THE MAIN DIRECTIONS OF RECLAMATION OF DISTURBED LANDS  
OF SMALL OPEN-PIT MINES IN YAKUTIA

*Zarovnyaev B.N., Shubin G.V., Antoeva S.P.* .....108

PURIFICATION OF NATURAL WATER OF THE TUR RIVER

*Kachalova G.S., Ageykina O.V., Golyanskaya S.A.* .....114

RESULTS OF MONITORING OF DANGEROUS ENGINEERING-  
GEOLOGICAL PROCESSES ON THE TERRITORY OF PERM KRAI IN 2022

*Krasilnikov P.A., Abroskin O.D., Krasilnikova S.A.,  
Ashikhmin S.G., Batrakova G.M., Tagiltsev S.N.* .....120

PROCESSING OF CLAY SOILS INTO A BUILDING COMPOSITE

*Mestnikov A.E.* .....126

REAGENT TREATMENT OF MUNICIPAL WASTEWATER  
ALUMINUM-CONTAINING COMPLEX COAGULANTS-  
FLOCCULANTS IN LABORATORY CONDITIONS

*Starostina I.V., Loktionova E.V., Kiryushina N.Yu., Makridina Yu.L., Lifintsev A.N.* .....131

## СТАТЬИ

УДК 633.12:595.7

DOI 10.17513/use.38222

**ВЛИЯНИЕ АНТОФИЛЬНЫХ НАСЕКОМЫХ  
НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ГРЕЧИХИ ПОСЕВНОЙ  
(*FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH)****Зыков И.Е., Алексеев М.Е., Ежкова В.Г., Хотулева О.В.***ГОУ ВО МО «Государственный гуманитарно-технологический университет», Орехово-Зуево,  
e-mail: zikov-oz@yandex.ru, v3staa@yandex.ru, eva3015@yandex.ru, khotuleva@yandex.ru*

**Аннотация.** В ходе коэволюции с цветковыми растениями у насекомых сформировались различные антофильные признаки. Отмечено, что постоянные и взаимовыгодные отношения между цветком и опылителем основаны на питании пыльцой, нектаром и другими веществами, которые являются первичными аттрактантами. Дана оценка влияния насекомых-опылителей на рост и развитие гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench). Установлена корреляционная зависимость количества и качества урожая гречихи от наличия антофильных насекомых во время цветения. Учитывая расположение посевов гречихи посевной рядом с другими посадками, следует предположить наличие выбора растений у насекомых-опылителей, который они не всегда делают в пользу опытной культуры. Опровергнута гипотеза о доминировании перепончатокрылых и, в частности, пчелиных в качестве основных опылителей гречихи. При снижении численности последних их место занимают другие очевидные (опушенные) опылители, среди которых главная роль принадлежит мухам-журчалкам (Syrphidae, Diptera). Приведен список потенциальных опылителей гречихи посевной, выявлена степень их доминирования, дано соотношение представителей разных отрядов за вегетационный период 2022 г. Доказано положительное влияние антофильных насекомых на растения, проявляющееся в увеличении их биомассы, массы плодов, содержания органических и минеральных веществ.

**Ключевые слова:** гречиха посевная, антофилия, насекомые-опылители, мухи-журчалки, урожайность, корреляционная зависимость

**THE INFLUENCE OF ANTHOPHILIC INSECTS  
ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF BUCKWHEAT  
(*FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH)****Zykov I.E., Alekseev M.E., Ezhkova V.G., Khotuleva O.V.***State University of Humanities and Technology, Orekhovo-Zuyevo,  
e-mail: zikov-oz@yandex.ru, v3staa@yandex.ru, eva3015@yandex.ru, khotuleva@yandex.ru*

**Annotation.** In the course of coevolution with flowering plants, various anthophilic signs formed in insects. It is noted that the permanent and mutually beneficial relationship between the flower and the pollinator is based on feeding on pollen, nectar and other substances that are primary attractants. The influence of insect pollinators on the growth and development of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) assessed. The correlation dependence of the quantity and quality of buckwheat harvest on the presence of anthophilic insects during flowering established. Given the location of buckwheat crops next to other plantings, should assumed that pollinating insects have a choice of plants, which they do not always make in favor of an experimental crop. The hypothesis of the dominance of hymenoptera and, in particular, bees as the main pollinators of buckwheat refuted. With a decrease in the number of the latter, their place taken by other obvious (pubescent) pollinators, among which the main role belongs to the babbler flies (Syrphidae, Diptera). A list of potential pollinators of buckwheat given, the degree of their dominance revealed, and the ratio of representatives of different orders for the growing season of 2022 is given. The positive effect of anthophilic insects on plants proven, manifested in an increase in their biomass, fruit weight, organic and mineral content.

**Keywords:** buckwheat, anthophilia, pollinating insects, babbler flies, yield, correlation dependence

Насекомые-опылители играют огромную роль в жизни цветковых растений. Антофилия является результатом сопряженной эволюции растений и животных, начиная с пермского периода [1]. Использование покрытосеменными насекомых-опылителей дает им значительные преимущества по сравнению с другими группами высших растений. Значимость перекрестного опыления в жизни растений и взаимосвязь определенных видов насекомых с узким спектром кормовых культур доказывает актуальность выбранной авторами темы.

В ходе коэволюции с цветковыми растениями у насекомых сформировались различные антофильные признаки, выработалась определенная стандартность размеров и формы обоих объектов. Наибольшую приспособленность к антофилии имеют представители надсемейства Apoidea отряда Hymenoptera [2, 3] и семейства Syrphidae отряда Diptera, которые играют особую роль в качестве опылителей.

Установление постоянных и взаимовыгодных отношений между цветком и опылителем основано на питании пыльцой, не-

ктаром и другими веществами, которые являются первичными аттрактантами. Вторичные аттрактанты, действуя на органы чувств опылителя, указывают, где находятся первичные, и уточняют траекторию его перемещения. Здесь большое значение играют размеры цветка или соцветия, яркие или необычные по форме околоцветники, ароматы.

Цель исследования – выявление спектра антофильных насекомых гречихи посевной в разных условиях ее произрастания и установление возможной корреляции количества и качества урожая от наличия потенциальных опылителей во время цветения.

Гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Moench) – однолетнее травянистое растение высотой 50–120 см. Цветки гречихи расположены на длинных пазушных цветоносах, обоеполые, собраны в рыхлые соцветия, имеют белую или розовую окраску, приятный медовый запах, появляются в июле, привлекают опылителей. Цветки диморфные, гетеростильные: в одних столбик длиннее тычинок (длинностолбчатые), в других тычинки длиннее столбика (короткостолбчатые). На каждом растении имеются цветки только одного типа. Разное строение цветков лучше обеспечивает перекрестное опыление [4, 5]. Формула цветка:  $*P_3+2A_5+3G$ .

Плоды гречихи имеют форму трехгранного орешка, светло-зеленый цвет, созревают неравномерно: нижние, созревшие, легко обламываются и осыпаются, тогда как верхушка бывает еще покрыта цветками. Плодовые оболочки плотно облегают семя, но не срываются с ним, что позволяет легко проводить обрушивание.

Цветение у гречихи начинается на 15–40-й день после появления всходов, продолжается около месяца и обычно не заканчивается к уборке. Скороспелые сорта зацветают в начале ветвления, позднеспелые – после образования ветвей. Наибольшее выделение нектара у гречихи наблюдается в утренние часы и до полудня, в остальное время дня при жаркой погоде нектар быстро высыхает [6].

Перенос пыльцы с одного растения на другое и опыление в естественных условиях происходят у гречихи при помощи насекомых, в значительно меньшей степени – ветром. Семена завязываются, как правило, только при перекрестном опылении растений, имеющих цветки с разными типами столбчатости. Опыление цветков одной формы столбчатости пыльцой другой формы называется легитимным. В эксперименте можно осуществить и иллегитимное (неза-

конное) опыление, то есть скрестить короткостолбчатое растение с короткостолбчатым или длинностолбчатое с длинностолбчатым, однако при таких комбинациях семена завязываются плохо. Еще меньше семян образуется при изоляции отдельных растений, то есть при самоопылении.

На одном растении гречихи раскрывается в среднем 500 цветков. Урожай часто создается за счет 4–6% цветков, остальные опадают. Это основная причина низких и неустойчивых урожаев гречихи.

Распространение гречихи на север ограничивается суммой среднесуточных температур (требуется более 13°C), на юг – недостаточным количеством влаги (требуется более 50–70 мм осадков за месяц цветения и плодообразования). Поэтому ареал гречихи посевной ограничен плодородными черноземными или окультуренными торфянистыми регионами [7].

### Материалы и методы исследования

Исследование проведено на территории поселка Вольгинский Петушинского района Владимирской области в период с мая по октябрь 2022 г. на пришкольном участке. В основу исследования положена проверка гипотезы о преимущественном опылении гречихи перепончатокрылыми, считается, что гречиха посевная на 80–95% опыляется пчелами [8, 9].

В конце мая на участке высажены фасоль и гречиха. Гречиха отличается быстротой и равномерностью всходов, неприхотливостью к почве, обильно и продолжительно цветет, привлекая большое количество насекомых. Для работы выбрана гречиха посевная сорта Даша – детерминантный сорт с укороченным стеблем, зеленоцветковый, высокоурожайный, скороспелый.

15 июня 2022 г. сформированы четыре делянки площадью по 1 м<sup>2</sup>, которые засеяны гречихой. Выбран широкорядный способ посева:

- на 1 м<sup>2</sup> в четырех рядах высеяно 180 семян, по 45 штук в каждом ряду;
- расстояние между рядами 6–10 см;
- расстояние между семенами 3 см;
- семена высеяны на глубину 3–5 см.

Расположение делянок: делянки 1 и 4 хорошо освещены, делянки 2 и 3 – затенены.

В связи с поздним посевом для ускорения развития растений проведено предпосевное внесение аммофоски в количестве 15–20 г на 1 м<sup>2</sup>. Второе внесение удобрений проведено в том же количестве в период бутонизации.

Первые всходы появились через 5 дней, всхожесть семян составила 88,9%. По мере роста растений проведены полив, рыхление и прополка.

В период бутонизации делянка 4 была накрыта нетканым материалом. За период цветения проведен сбор и определение обнаруженных на гречихе посевной насекомых, которые являются потенциальными опылителями этой культуры (табл. 5, 6). Собрано более 300 насекомых, относящихся главным образом к отрядам Hymenoptera и Diptera.

### Результаты исследования и их обсуждение

В период созревания на одном растении имеются созревшие и зеленые плоды, цветки и бутоны. Несмотря на детерминантность сорта, после дождей растения сильно прибавили в росте, достигнув в среднем 1,5 м. В дальнейшем погодные условия (температура и влажность) способствовали более длительному цветению, которое продолжалось от 25 до 40 дней.

21.09.22 г. при побурении растений на 70–80% проведена уборка урожая. Сформированные снопы с каждой делянки высу-

шены в тени и взвешены. Затем произведен обмолот плодов и определение их массы.

Вследствие выбора места расположения делянок с разной степенью освещенности очевидно наличие разных условий для всхожести семян, роста растений и привлечения насекомых-опылителей. Это влияет на итоговый показатель – общую биомассу растений и массу плодов. Кроме того, дополнительное условие в виде покрытия делянки 4 нетканым материалом, исключающее возможность опыления растений насекомыми, также оказало влияние на количество и качество урожая.

Для оценки качественных отличий проб с каждой делянки проведена репрезентативная 2%-я случайная бесповторная выборка плодов (табл. 1).

Ранговый коэффициент корреляции Кендалла (коэффициент конкордации) используется с целью определения зависимости между количественными и качественными признаками, характеризующими однородные объекты и ранжированными по одному признаку.

Для определения коэффициента выполнены дополнительные вычисления, представленные в табл. 2.

Таблица 1

Общая биомасса растений и масса плодов гречихи посевной

№ делянки	Общая биомасса растений, кг	Масса плодов, г	% к общей биомассе растений	Выборка для биохимического анализа, г
1 (контроль)	3,300	387,43	11,74	8
2	3,000	328,76	10,95	7
3	2,600	287,67	11,064	6
4	1,200	122,41	10,20	2

Таблица 2

Определение рангового коэффициента корреляции Кендалла (коэффициента конкордации)

№ делянки	Условия				Общая биомасса растений, кг	Масса плодов, г	Ранги			$\sum_1^3 R_i$	$\sum_1^3 R_i^2$
	Свет		Насекомые-опылители				R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>		
	Наличие	Оценка	Наличие	Оценка							
1	+	1	+	1	3,300	387,43	4	4	4	12	144
2	-	1/2	+	1/2	3,000	328,76	2	3	3	8	64
3	-	1/2	+	1/2	2,600	287,67	2	2	2	6	36
4	+	1	-	0	1,200	122,41	2	1	1	4	16
Итого:										30	260

Коэффициент конкордации ( $W$ ) вычислен по формуле

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)},$$

где  $m$  – количество коррелирующих факторов;

$n$  – число наблюдений;

$S$  – сумма квадратов отклонений суммы рангов по факторам от средней арифметической.

Расчеты:

$$\overline{\sum R} = \frac{30}{4} = 7,5.$$

$$S = (12-7,5)^2 + (8-7,5)^2 + (6-7,5)^2 + (4-7,5)^2 = 35$$

Подставляя полученные значения в формулу, получаем  $W \approx 0,78$ . Коэффициент конкордации принимает значения от 0 до 1. Учитывая полученную величину коэффициента, можно утверждать, зависимость между рассматриваемыми показателями «наличие насекомых-опылителей», «количество урожая» и «качество урожая» значимая.

Подтвердить значимость полученного показателя можно по критерию Пирсона (хи-квадрат):  $7 \cdot 0,78 \cdot (3-1) = 10,92$ .

Значение по таблице критерия Пирсона при 1% уровне значимости составляет 9,2, а при 5% – 6,0. И то и другое меньше расчетного значения, следовательно, при уровне значимости 1% принимается значимым коэффициент конкордации [10, 11].

С очищенными от шелухи пробами плодов с каждой делянки проведен биохимический анализ, результаты которого представлены в табл. 3 и 4.

В опытных образцах с делянок 2–4 урожайность заметно ниже, чем в контрольном (1). При этом на накрытой делянке 4 урожай хоть минимальный, но все-таки есть. Это говорит о возможности самоопыления изолированных растений. Показатели делянок 2 и 3 отличаются от показателей контрольной делянки в меньшей степени. Эти делянки находились в тени и меньше посещались насекомыми, что подтверждает важность освещения не только для растений, но и для насекомых, которые их опыляют. Отмечено проявление корреляционной зависимости количества и качества урожая гречихи посевной от наличия опылителей во время цветения. Список потенциальных опылителей и соотношение представителей разных отрядов насекомых, собранных за вегетационный период 2022 г. на гречихе посевной, приведены в табл. 5 и 6.

При обработке собранного материала к доминантным отнесены виды, обилие которых составляет более 5%, к субдоминантным – от 2 до 5%, к рецедентным – менее 2%.

Из всех опылителей можно выделить очевидных (с опушением) и возможных (без опушения). Большинство видов из приведенного списка (табл. 4) можно считать очевидными опылителями из-за наличия опушения на теле, но есть и те, которые не имеют опушения, например *Himacerus mirmicoides*, *Lasius niger* и др.

**Таблица 3**

Содержание органических и минеральных веществ в плодах гречихи посевной, %

№ делянки	Белки	Жиры	Углеводы	Минеральные вещества
1 (контроль)	12,85	3,57	62,23	0,43
2	12,52	3,52	61,84	0,40
3	12,67	3,43	61,91	0,41
4	10,31	3,10	60,01	0,35

**Таблица 4**

Содержание минеральных веществ в плодах гречихи посевной, мг/100 г

№ делянки	Железо	Фосфор	Калий	Магний	Кальций	Кремний
1 (контроль)	8,75	320,21	340,96	220,37	62,64	135,01
2	8,02	317,28	340,17	210,96	61,82	136,18
3	8,21	310,85	337,45	215,85	61,12	135,28
4	7,00	311,67	330,89	207,64	59,87	130,79

Таблица 5

Потенциальные опылители гречихи посевной,  
собранные за вегетационный период 2022 г.

№ п/п	Виды насекомых	Степень доминирования
1	<i>Apis mellifera</i> L. – пчела медоносная	++
2	<i>Bombus pascuorum</i> (Scopoli) – шмель полевой	++
3	<i>Bombus lapidaries</i> (L.) – шмель краснохвостый	++
4	<i>Bombus lucorum</i> L. – шмель белохвостый	+
5	<i>Polistes dominula</i> Christ – оса бумажная европейская	+
6	<i>Euvenes coarctatus</i> (L.) – оса пилюльная	++
7	<i>Lasius niger</i> (L.) – муравей черный садовый	+
8	<i>Syrirta pippins</i> (L.) – журчалка толстоногая	++
9	<i>Dasysyrphus hilaris</i> (Zetterstedt) – журчалка палеарктическая	+
10	<i>Syrphus ribesii</i> (L.) – сирф перевязанный, или журчалка обыкновенная	++
11	<i>Eristalis tenax</i> (L.) – ильница цепкая, или ильница обыкновенная	++
12	<i>Sarcophaga carnaria</i> (L.) – муха мясная серая	+
13	<i>Caliphora vicina</i> Robineau-Desvoidy – муха падальная синяя красноголовая	+
14	<i>Lucilia sericata</i> (Meigen) – муха обыкновенная зеленая бутылочная	+
15	<i>Musca domestica</i> L. – муха комнатная	+
16	<i>I. Elasmusha fieberi</i> Jakovlev – щитник древесный Фибера	
17	<i>Himacerus mirmicoides</i> O.G. Costa – клоп-охотник муравьевидный	+
18	<i>Pieris napi</i> L. – белянка брюквенная	++
19	<i>Aglais io</i> (L.) – глаз павлиний	
20	<i>Cixius nervosus</i> (L.) – носатка ребристая	+
21	<i>Coleomigilla maculata</i> De Geer – божья коровка пятнистая розовая	
22	<i>Propylea quatuordecimpunctata</i> (L.) – коровка четырнадцатиточечная	+

Примечание: ++ – доминантные виды; + – субдоминантные виды.

Таблица 6

Соотношение представителей разных отрядов насекомых-опылителей  
на гречихе посевной за вегетационный период 2022 г., %

Отряды насекомых	Июнь	Июль – август
Двукрылые	53,125	73,206
в том числе мухи-журчалки	31,25	41,627
Перепончатокрылые	28,125	21,053
Жесткокрылые	15,625	1,435
Полужесткокрылые	3,125	3,349
Чешуекрылые	–	0,957
<b>Всего</b>	100,0	100,0

### Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать некоторые выводы.

1. Учитывая расположение делянок, засеянных гречихой посевной, рядом с другими посадками, такими как фасоль, следует предположить наличие выбора рас-

тений у насекомых-опылителей, который они не всегда делают в пользу опытной культуры. Проведенный учет насекомых, собранных на гречихе, свидетельствует о преобладании отряда Двукрылые над всеми остальными ее потенциальными опылителями.

2. При сравнении урожая, полученного в разных условиях, установлено: общая биомасса растений и масса плодов с деланки 4 (изолированной) значительно ниже, чем с остальных, что говорит о прямой зависимости количества и качества урожая гречихи посевной от наличия опылителей во время цветения.

3. В ходе исследования опровергнута гипотеза о доминировании пчелиных (Hymenoptera, Apoidea) в качестве опылителей гречихи. При снижении численности последних их место занимают другие антофильные насекомые, преимущественно мухи-журчалки (Diptera, Syrphidae).

4. Подтверждено положительное влияние насекомых-опылителей на растения, проявляющееся в увеличении общей биомассы гречихи посевной, массы плодов, увеличении в них содержания органических и минеральных веществ.

5. Учитывая полученную величину коэффициента конкордации  $W \approx 0,78$ , можно утверждать, что между рассматриваемыми показателями «наличие насекомых-опылителей», «количество урожая» и «качество урожая» имеется значимая корреляционная зависимость.

### Список литературы

1. Гринфельд Э.К. Происхождение и развитие антофиллии насекомых. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1978. 280 с.
2. Ченикалова Е.В., Черкашин В.Н. Пути повышения эффективности природных опылителей при органическом земледелии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 8. С. 25–29.
3. Комлацкий Г.В. Пчеловодство как необходимый фактор развития АПК // Научный журнал Кубанского ГАУ. 2020. № 157 (03). DOI: 10.21515/1990-4665-157-005.
4. Алексеев М.Е., Зыков И.Е. Гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Moench) в разработке школьных проектов // Экология и экологическое образование в современном мире: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. Орехово-Зуево, 2023. С. 63–67.
5. Тихомиров В.В. Пчеловодство. М.: Экспо, 2022. 336 с.
6. Гречиха посевная // Ртищевская краеведческая энциклопедия. [Электронный ресурс]. URL: <http://wikirtishchevo.shoutwiki.com/wik> (дата обращения: 22.02.2024).
7. Гречиха посевная // Энциклопедия растений [Электронный ресурс]. URL: <http://lektrava.ru/encyclopedia/grechikha-posevnaaya> (дата обращения: 22.02.2024).
8. Комлацкий В.И., Стрельбицкая О.В., Купченко А.А. Значение и место пчеловодства в индустриальном агроценозе // Труды Кубанского ГАУ. 2019. № 77. С. 161–165.
9. Федеральный закон от 30 декабря 2020 г. № 490-ФЗ «О пчеловодстве в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400056366/t.ru> (дата обращения: 27.02.2024).
10. Общая теория статистики / под ред. М.Г. Назарова. М.: Омега-Л, 2018. 320 с.
11. Лысенко С.Н., Дмитриева И.А. Общая теория статистики. М.: Вузовский учебник, 2019. 216 с.

УДК 633.11/.13/.16:502.051  
DOI 10.17513/use.38223

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА СОРТА ПО ОДНОМУ ИЛИ НЕСКОЛЬКИМ ПРИЗНАКАМ

<sup>1</sup>Сумина А.В., <sup>2</sup>Полонский В.И.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова», Абакан,  
e-mail: alenasumina@list.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск

**Аннотация.** Цель работы заключалась в разработке и обосновании использования комплексного показателя оценки качества сорта по одному или нескольким признакам. Были проанализированы образцы ячменя ярового, овса ярового и пшеницы мягкой яровой, выращенные в 2021 г. в пяти экологических пунктах, расположенных на территории Восточной Сибири. По признаку «масса 1000 зерен» вычисляли параметры экологической стабильности образцов: показатель уровня и стабильности сорта (ПУСС), параметр гомеостатичности (Hom), показатель селекционной ценности сорта (Cs), фактор стабильности (SF), которые в дальнейшем соотносились с комплексным показателем оценки качества сорта. На основании полученных данных было установлено, что практически все используемые в работе параметры стабильности, включая комплексный показатель оценки качества сорта, по массе 1000 зерен оценивают один и тот же образец овса, ячменя яровых и пшеницы мягкой яровой практически одинаково. Данный комплексный показатель возможно использовать для выполнения сравнительного определения селекционной ценности образцов сельскохозяйственных культур одновременно и по абсолютной величине какого-либо хозяйственно полезного признака, и по уровню адаптивности (стабильности) его проявления в разнообразных экологических условиях. Этот показатель по сравнению с другими имеет преимущество, заключающееся в сравнительной простоте его вычисления, а в силу своей безразмерности может использоваться при выполнении оценки образцов по нескольким селекционным признакам одновременно.

**Ключевые слова:** экологическая адаптивность, масса 1000 зерен, овес, пшеница, ячмень

## A COMPLEX INDICATOR OF THE QUALITY OF A VARIETY ACCORDING TO ONE OR MORE CHARACTERISTICS

<sup>1</sup>Sumina A.V., <sup>2</sup>Polonskiy V.I.

<sup>1</sup>Khakass State University named after N.F. Katanov, Abakan, e-mail: alenasumina@list.ru;

<sup>2</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk

**Annotation.** The purpose of the work was to develop and justify the use of a comprehensive indicator for assessing the quality of a variety based on one or more characteristics. Samples of spring barley, spring oats and soft spring wheat grown in 2021 in five ecological sites located in Eastern Siberia were analyzed. Based on the “mass of 1000 grains”, the parameters of the ecological stability of the samples were calculated: the indicator of the level and stability of the variety (PUSS), the parameter of homeostaticity (Hom), the indicator of the breeding value of the variety (Cs), the stability factor (SF), which were further correlated with the complex indicator of the assessment of the quality of the variety. Based on the data obtained, it was found that almost all stability parameters used in the work, including a comprehensive indicator for assessing the quality of the variety, by weight of 1000 grains, evaluate the same sample of oats, spring barley and soft spring wheat in almost the same way. This complex indicator can be used to perform a comparative determination of the breeding value of crop samples simultaneously by the absolute value of any economically useful feature and by the level of adaptability (stability) of its manifestation in a variety of environmental conditions. This indicator has the advantage over others in the comparative simplicity of its calculation, and due to its dimensionlessness it can be used when evaluating samples for several breeding characteristics at the same time.

**Keywords:** ecological adaptability, weight of 1000 grains, oats, wheat, barley

В настоящее время одной из важнейших задач растениеводства является стабильное проявление элементов продуктивности по годам и географическим пунктам выращивания различных культур [1–3]. Для контрастного климата Восточной Сибири в течение вегетационного периода характерно наличие неблагоприятных факторов внешней среды [4], что приводит к уменьшению стабильности величины урожая и составляющих его элементов у возделываемых здесь сельскохозяйственных растений.

Для выполнения сравнительного определения селекционной ценности образцов сельскохозяйственных культур одновременно и по абсолютной величине какого-либо хозяйственно полезного признака, и по уровню адаптивности (стабильности) его проявления в разнообразных экологических условиях необходим соответствующий обобщенный критерий, своего рода показатель качества сорта. Последний, по видимому, должен обладать следующими характеристиками: 1) наличием в формуле

его вычисления среднего значения признака образца по годам (экологическим пунктам) выращивания; 2) наличием параметра, учитывающего уровень варьирования признака образца по годам (пунктам); 3) наличием соответствия наибольшего значения рассматриваемого показателя качества сорта одновременно близкому к максимальному уровню среднему значению признака образца и близкой к максимальной величине стабильности образца по данному признаку. Кроме того, целесообразно, чтобы: 4) при вычислении предполагаемого показателя отсутствовала необходимость сравнения найденного результата с таковым для сорта-стандарта; 5) показатель качества сорта характеризовался безразмерностью и 6) сравнительной простотой его вычисления.

Цель работы заключалась в разработке и обосновании использования комплексного показателя качества сорта по одному или нескольким признакам.

#### Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования выступали сорта овса ярового (Тубинский, Аргумент, Кросс, Радужный, Саян, Урал 2, Браслет, Сиг, Иртыш 33, Тоболяк), ячменя ярового (Биом, Абалак, Ача, Буян, Емеля, Красноярский 91, Оленек, Такмак, Танай, Эней Уа, Тулунский янтарь, Дивный) и пшеницы мягкой яровой (Алтайская 75, Ветлужанка, Гонец, Красноярская 12, Курагинская 2, Новосибирская 18, Омская 44, Предгорная, Ульгения, Свирель, Лидер 80, Старт, Юнион), выращенные в 2021 г. в пяти экологических пунктах (государственных сортоучастках): Бейский (Республика Хакасия), Каратузский, Краснотуранский, Назаровский (Красноярский край), Пий-Хемский (Республика Тува).

Массу 1000 зерен рассчитывали по методике ГОСТ 12042-80 [5]. По данному признаку зерна вычисляли параметры экологической стабильности образцов: показатель уровня и стабильности сорта ПУСС, параметр гомеостатичности  $Hom$ , показатель селекционной ценности сорта  $Cs$ , фактор стабильности  $SF$  [6, 7].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим с перечисленных выше позиций наиболее часто используемые в литературе показатели экологической адаптивности (стабильности) образцов. В известном показателе «коэффициент вариации  $Cv$ », во-первых, существует не прямое,

а обратное соответствие его наибольшего значения максимальной величине стабильности образца по какому-либо селекционно ценному признаку, что является не совсем удобным при сравнении образцов между собой, и, во-вторых, в формуле присутствует стандартное отклонение, что технически усложняет вычисление показателя.

$$Cv = S / M,$$

где  $Cv$  – коэффициент вариации (%),  $M$  – среднее значение селекционно ценного признака образца,  $S$  – стандартное отклонение признака.

В использованном многими авторами для определения уровня адаптивности образца показателе стрессоустойчивости  $d$  отсутствует один из двух главных составляющих предполагаемого показателя качества образца – среднее значение селекционно ценного признака, что делает невозможным сравнение образцов, в том числе по величине последнего.

$$d = M_{\min} - M_{\max},$$

где  $d$  – показатель стрессоустойчивости образца,  $M_{\min}$  – минимальное значение признака образца,  $M_{\max}$  – максимальное значение признака образца.

Еще один известный параметр адаптивности образца – это показатель гомеостатичности  $Hom$ :

$$\begin{aligned} Hom &= M / Cv * d = \\ &= M * M / S * d = M^2 / S * d, \end{aligned}$$

где  $Hom$  – показатель гомеостатичности образца,  $Cv$  – коэффициент вариации (%),  $M$  – среднее значение селекционно ценного признака образца,  $S$  – стандартное отклонение признака,  $d$  – показатель стрессоустойчивости образца.

В данном показателе можно выделить три особенности: 1) наличие среднего значения признака во второй степени, а стандартного отклонения, характеризующего его стабильность, – в первой, что дает преимущества количественной выраженности признака по сравнению с уровнем стабильности образца по нему; 2) показатель  $Hom$  не является безразмерным, что делает не совсем удобным сравнение показателей образцов по разным признакам; 3) наличие стандартного отклонения, что технически усложняет вычисление показателя.

В описанном в литературе показателе «фактор стабильности  $SF$ » отсутствует один из двух главных составляющих – среднее значение признака, что дает преимущества

параметру уровень стабильности образца по нему по сравнению с количественной выраженностью признака.

$$SF = M_{\min} / M_{\max},$$

где SF – фактор стабильности образца по какому-либо селекционно ценному признаку;  $M_{\min}$  – минимальное значение признака образца,  $M_{\max}$  – максимальное значение признака образца.

Другой известный параметр адаптивности (стабильности) образца – это показатель уровня и стабильности сорта ПУСС:

$$\text{ПУСС} = M_2 / C_v = M_3 / S,$$

где ПУСС – показатель уровня и стабильности сорта (%),  $M$  – среднее значение селекционно ценного признака образца,  $S$  – стандартное отклонение признака.

Он характеризуется: 1) наличием среднего значения признака не в первой, а в третьей степени, что дает преимущества среднему значению признака по сравнению с уровнем стабильности образца по нему; 2) отсутствием безразмерности показателя, что делает не совсем удобным сравнение показателей по разным признакам; 3) наличием стандартного отклонения, что усложняет технически вычисление показателя.

В используемом в литературе показателе «селекционная ценность сорта»  $C_s$  размерность показателя совпадает с таковой признака, что делает не совсем удобным сравнение показателей для разных признаков.

$$C_s = M (M_{\min} / M_{\max}),$$

где  $C_s$  – селекционная ценность сорта,  $M$  – среднее значение селекционно ценного признака образца,  $M_{\min}$  – минимальное значение признака образца,  $M_{\max}$  – максимальное значение признака образца.

Последний из рассмотренных показателей  $C_s$  можно легко модифицировать, заменив отношение  $(M_{\min} / M_{\max})$  на их разность  $(M_{\max} - M_{\min})$ , что фактически представляет собой показатель стрессоустойчивости  $d$  с обратным знаком. Тогда получится упрощенная формула для вычисления показателя качества образца. Если ценность образца состоит в максимальном значении селекционного признака образца и максимальной величине стабильности образца по данному признаку, то формула для вычисления показателя качества образца выразится так:

$$\text{КПК} = M / (M_{\max} - M_{\min}), \quad (1)$$

где КПК – комплексный показатель качества образца по какому-либо селекционно

ценному признаку,  $M$  – среднее значение признака образца по годам (экологическим пунктам) его выращивания,  $M_{\max}$  и  $M_{\min}$  – соответственно наибольшее и наименьшее значения признака образца по годам (пунктам).

Так как в знаменателе формулы стоит выражение разности, то при теоретически возможном равенстве максимального значения признака минимальному (что на практике невозможно) и обращении разности в ноль значение КПК будет равно бесконечности. Поэтому в формулу для вычисления КПК следует ввести условие ограничения, а именно:  $M_{\max} \neq M_{\min}$ .

Поскольку в таком модифицированном показателе качества образца присутствует и среднее значение признака, и уровень стабильности образца по нему, а также он вполне удовлетворяет всем другим условиям, сформулированным выше (соответствие, безразмерность, простота вычисления), то его можно считать приемлемым для выполнения сравнительной оценки образцов, обозначив, как «Комплексный показатель качества, КПК» образца по какому-либо его селекционному признаку, например по содержанию ценных веществ, уровню пленчатости зерна, массе 1000 зерен, продолжительности вегетационного периода и др.

Можно видеть, что при сравнительной оценке различных образцов между собой по какому-либо селекционному признаку максимальная величина КПК конкретного образца будет свидетельствовать о наилучшем сочетании величины и стабильности признака одновременно, то есть о близком к наибольшему среднему уровню признака у этого образца, и о близкой к наибольшему значению стабильности образца по признаку (наименьшему размаху значений признака). Представляется, что КПК является простым вычисляемым безразмерным показателем сравнительной ценности образца по какому-либо его селекционному признаку.

В случае проведения оценки образца по нескольким ценным признакам, формула (1) будет соответственно выглядеть так:

$$\text{ОКПК} = M_1 / (M_{\max} - M_{\min})_1 + M_2 / (M_{\max} - M_{\min})_2 + M_3 / (M_{\max} - M_{\min})_3, \quad (2)$$

где ОКПК – объединенный комплексный показатель качества образца по селекционным признакам 1, 2, 3 и т.д.,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  – среднее значение перечисленных признаков 1, 2, 3 образца по годам (экологическим пунктам) его выращивания.

Таблица 1

Показатели экологической стабильности по массе 1000 зерен образцов овса ярового, ячменя ярового и пшеницы мягкой яровой

Название образца	Показатели стабильности				
	Ном	ПУСС, %	Cs	SF	КПК
<b>Овес яровой</b>					
Тубинский (ст)	0,91	100,0	29,0	0,85	6,1
Аргумент	1,12	156,2	34,0	0,86	6,5
Кросс	1,22	167,4	35,7	0,87	7,1
Радужный	0,87	123,8	31,6	0,84	5,7
Саян	1,06	123,5	30,9	0,85	6,5
Урал 2	0,43	79,9	30,7	0,80	4,5
Браслет	0,25	57,8	25,8	0,70	3,4
Сиг	0,35	52,1	24,6	0,77	4,0
Иртыш 33	0,28	76,7	29,6	0,74	3,5
Тоболяк	0,43	72,6	26,1	0,77	3,9
<b>Ячмень яровой</b>					
Биом (ст)	0,16	100,0	33,4	0,68	2,5
Абалак	0,14	85,4	30,9	0,67	2,4
Ача	0,09	61,7	27,9	0,61	1,9
Буян	0,08	66,0	27,3	0,59	1,8
Емеля	0,15	57,6	26,6	0,68	2,6
Красноярский 91	0,20	70,9	27,4	0,70	2,8
Оленек	0,07	55,3	26,0	0,59	1,7
Такмак	0,08	61,0	28,3	0,59	1,8
Танай	0,10	69,7	28,5	0,62	2,1
Эней Уа	0,07	65,3	26,2	0,55	1,6
Тулунский янтарь	0,14	70,5	27,9	0,66	2,4
Дивный	0,08	61,0	25,7	0,57	1,8
<b>Пшеница мягкая яровая</b>					
Алтайская 75 (ст)	0,13	100,0	25,3	0,64	2,3
Велужанка	0,09	82,3	22,5	0,61	1,8
Гонец	0,13	105,5	24,4	0,64	2,1
Красноярская 12	0,13	99,0	27,0	0,66	2,5
Курагинская 2	0,12	103,2	26,2	0,66	2,2
Новосибирская 18	0,08	67,4	19,6	0,55	1,7
Омская 44	0,14	87,6	24,2	0,66	2,4
Предгорная	0,10	96,8	24,0	0,57	2,0
Ульгенья	0,13	89,4	24,3	0,65	2,3
Свирель	0,10	86,2	23,3	0,58	2,0
Лидер 80	0,09	97,7	25,0	0,58	1,9
Старт	0,22	120,7	26,8	0,73	2,9
Юнион	0,20	118,1	26,8	0,53	3,1

Выполним вычисления рассмотренных показателей стабильности по массе 1000 зерен для образцов трех зерновых культур, выращенных в 2021 г. Расчетные данные представлены в табл. 1. Из приведенных результатов можно видеть, что у овса ярового

по уровню стабильности заметно опередил всех образец Кросс, для ячменя ярового было характерно выделение образцов Биом и Красноярский 91, среди пшениц мягких яровых к лидерам следует отнести образец Старт.

Таблица 2

Результаты ранжирования образцов овса ярового, ячменя ярового и пшеницы мягкой яровой по показателям их стабильности по массе 1000 зерен

Название образца	Значения рангов по показателям					Сумма рангов
	Ном	ПУСС	Cs	SF	КПК	
Овес яровой						
Тубинский (ст)	4,0	5,0	7,0	3,5	4,0	23,5
Аргумент	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	10,5
Кросс	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	5,0
Радужный	5,0	3,0	3,0	5,0	5,0	21,0
Саян	3,0	4,0	4,0	3,5	2,5	17,0
Урал 2	6,5	6,0	5,0	6,0	6,0	29,5
Браслет	10,0	9,0	9,0	10,0	10,0	48,0
Сиг	8,0	10,0	10,0	7,5	7,0	42,5
Иртыш 33	9,0	7,0	6,0	9,0	9,0	40,0
Тоболяк	6,5	8,0	8,0	7,5	8,0	38,0
Коэффициент корреляции	0,97*	0,97*	0,91*	0,97*	0,97*	-
Ячмень яровой						
Танай	6,0	5,0	3,0	6,0	6,0	26,0
Тулунский янтарь	4,5	4,0	5,5	5,0	4,5	23,5
Биом (ст.)	2,0	1,0	1,0	2,5	3,0	9,5
Абалак	4,5	2,0	2,0	4,0	4,5	17,0
Буян	9,0	6,0	8,0	9,0	9,0	41,0
Дивный	9,0	9,5	12,0	11,0	9,0	50,5
Емеля	3,0	11,0	9,0	2,5	2,0	27,5
Красноярский 91	1,0	3,0	7,0	1,0	1,0	13,0
Оленек	11,5	12,0	11,0	9,0	11,0	54,5
Такмак	9,0	9,5	4,0	9,0	9,0	40,5
Эней Уа	11,5	7,0	10,0	12,0	12,0	52,5
Ача	7,0	8,0	5,5	7,0	7,0	34,5
Коэффициент корреляции	0,95*	0,76*	0,79*	0,92*	0,92*	-
Пшеница мягкая яровая						
Алтайская 75 (ст)	5,5	5,0	5,0	6,5	5,5	27,5
Ветлужанка	11,5	12,0	12,0	8,0	12,0	55,5
Гонец	5,5	3,0	7,0	6,5	8,0	30,0
Красноярская 12	5,5	6,0	1,0	3,0	3,0	18,5
Курагинская 2	8,0	4,0	4,0	3,0	7,0	26,0
Новосибирская 18	13,0	13,0	13,0	12,0	13,0	64,0
Омская 44	3,0	10,0	9,0	3,0	4,0	29,0
Предгорная	9,5	8,0	10,0	11,0	9,5	48,0
Ульгенья	5,5	9,0	8,0	5,0	5,5	33,0
Свирель	9,5	11,0	11,0	9,5	9,5	50,5
Лидер 80	11,5	7,0	6,0	9,5	11,0	45,0
Старт	1,0	1,0	2,5	1,0	2,0	7,5
Юнион	2,0	2,0	2,5	13,0	1,0	20,5
Коэффициент корреляции	0,91*	0,84*	0,90*	0,65*	0,93*	-

Примечание: \*Значения коэффициентов корреляции являются статистически значимыми по t-критерию при  $p \leq 0,05$ .

Анализ данных табл. 2 позволяет говорить, что в большинстве случаев имеет место совпадение результатов ранжирования образцов по уровню их стабильности по массе 1000 зерен, вычисленных на базе разных показателей, включая рассматриваемый в настоящей работе комплексный показатель качества образца КПК. Это подтверждается существенными значениями всех коэффициентов корреляции между рангами по отдельным параметрам стабильности и суммой рангов. Следует подчеркнуть, что значение таких коэффициентов для показателя КПК не было ниже, чем у всех других рассматриваемых здесь параметров стабильности. Исключение составил лишь показатель *Нот* у ячменя ярового.

### Заключение

На основании изложенного можно предположить, что практически все используемые в работе параметры стабильности, включая КПК, по массе 1000 зерен оценивают один и тот же образец овса ярового, ячменя ярового и пшеницы мягкой яровой практически одинаково. При этом показатель КПК по сравнению с другими имеет преимущество, заключающееся в соответствии его и абсолютному значению какого-либо селекционно ценного признака образца, и уровню его стабильности по данному признаку, а также простоте его вычисления.

Таким образом, предложенный для сравнительной оценки образцов комплексный показатель качества КПК включает в себя

одновременно и абсолютную величину изучаемого признака, и значение экологической стабильности образца по этому признаку, характеризуется сравнительной простотой вычисления и в силу своей безразмерности может использоваться при выполнении оценки образцов по нескольким селекционным признакам одновременно.

### Список литературы

1. Кузьменко Н.В., Муругова Г.А., Клыков А.Г., Коновалова И.В. Продуктивность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в условиях Приморского края // *Аграрная наука*. 2023. № 9. С. 79–83.
2. Сапега В.А., Турсумбекова Г.С. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020. Т. 21, № 2. С. 114–123.
3. Волкова Л.В. Новые сорта яровой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока // *Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве*. 2022. С. 47.
4. Сурин Н.А., Герасимов С.А., Бобровский А.В., Крючков А.А. Разработка элементов сортовой агротехники зерновых культур в Красноярском крае // *Земледелие*. 2021. № 7. С. 22–25.
5. Дьяченко Е.Н. Продуктивность ярового ячменя при длительном применении извести и минеральных удобрений в плодосменном севообороте в условиях Прибайкалья // *Современные проблемы и перспективы развития агрохимии, земледелия и смежных наук о плодородии почв и продуктивности полевых культур в Сибири*. 2023. С. 318–322.
6. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта*. М.: Колос, 1985. 336 с.
7. Полонский В.И., Герасимов С.А., Сумина А.В. Пластичность и стабильность образцов пленчатого ячменя по содержанию β-глобулинов в зерне и его крупности в условиях Красноярской лесостепи // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2022. № 4 (181). С. 53–61.

## НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 631/635

DOI 10.17513/use.38224

**ОБ ЭТАПАХ ИНТРОДУКЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ БУРЯТИИ  
(С ДРЕВНИХ ВРЕМЕН ДО НАЧАЛА XVIII ВЕКА)****Дабиева У.М.***ФГБОУ ВО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова»,  
Улан-Удэ, e-mail: yrandabieva@mail.ru*

**Аннотация.** Показано, что земледелие на территории Байкальской Сибири, возможно, появилось еще в бронзовом веке, то есть еще две с половиной тысячи лет назад. Причем земледелие в это время было достаточно развитым – использовался бронзовый плуг. Конечно, какие культуры выращивались в этот период, неизвестно, но можно предположить, что это было просо обыкновенное (*Panicum miliaceum*), которое выращивалось здесь на протяжении всей древней истории Бурятии. Археологические данные показали, что в хунский период на территории Байкальской Сибири выращивали кроме проса, такие культуры, как пшеница, зерно пленчатое, голозерный многорядный ячмень (*Hordeum vulgare L.*). При этом зерна ячменя были похожи на современные китайские зерна ячменя, а зерна пшеницы по форме более всего напоминали современные китайские пшеницы видов *Tr. Compactum* и *Tr. Asterium*. В курумчинский период на территории Байкала сажали просо обыкновенное, пшеницу крупнозернистую, рожь, ячмень, коноплю. В период существования территории Бурятии в составе Монгольской империи выращивались такие культуры, как просо обыкновенное, гречиха, ячмень. Безусловно, эти данные говорят, что на протяжении всей истории на территории Байкальской Сибири народы, проживавшие здесь, приносили новые культурные растения и, видимо, пытались приспособить их к здешнему суровому климату. С приходом русских поселенцев земледелие наряду с рыбным и пушным промыслом стало основой экономики хозяйств населения. Безусловно, нам неизвестно, какие именно виды пшеницы, овощей и других культурных растений использовали жители Байкала в конце XVII и начале XVIII веков. Но можно предположить, что они впервые использовали первые шаги интродукции на территории Бурятии, используя в этих целях привозные культурные растения с европейской части России посредством торговых путей, либо использовали китайские культуры, которые приобретали в пограничных городах. Интересно то, что население в этот период действительно было не против некоторых сельскохозяйственных экспериментов.

**Ключевые слова:** интродукция, земледелие, Бурятия, просо обыкновенное, выращивание, культуры, ячмень, пшеница, хунны, курыкане, история, монгольский, бронзовый век

**ABOUT THE STAGES OF INTRODUCTION IN THE TERRITORY OF BURYATIA  
(FROM ANCIENT TIMES TO THE BEGINNING OF THE XVIII CENTURY)****Dabieva U.M.***V.R. Filippov Buryat State Agricultural Academy, Ulan-Ude, e-mail: yrandabieva@mail.ru*

**Annotation.** It is shown that agriculture on the territory of Baikal Siberia appeared possibly as early as the Bronze Age, that is, two and a half thousand years ago. At the same time, agriculture was quite developed at that time – a bronze plow was used. Of course, it is not known what crops were grown during this period, but it can be assumed that it was common millet (*Panicum miliaceum*), which was grown here throughout the ancient history of Buryatia. Archaeological data have shown that in the Huns period, in addition to millet, crops such as wheat, filmy grain, naked multi-row barley (*Hordeum vulgare L.*) were grown on the territory of Baikal Siberia. At the same time, barley grains were similar to modern Chinese barley grains, and wheat grains in shape most closely resembled modern Chinese wheat species *Tr. Compactum* and *Tr. Asterium*. During the Kurumchi period, millet, coarse wheat, rye, barley, and hemp were planted on the territory of Lake Baikal. During the existence of the territory of Buryatia as part of the Mongolian Empire, crops such as millet, buckwheat, and barley were grown. Of course, these data show that throughout history on the territory of Baikal Siberia, the peoples who lived here introduced new cultivated plants, and apparently tried to adapt them to the local harsh climate. With the arrival of Russian settlers, agriculture, along with fishing and fur farming, became the basis of the economy of the households of the population. Of course, we do not know exactly what types of wheat, vegetables and other cultivated plants were used by the inhabitants of Lake Baikal at the end of the XVII and beginning of the XVIII centuries. But it can be assumed that for the first time they used the first steps of introduction in the territory of Buryatia, using imported cultivated plants from the European part of Russia through trade routes, or used Chinese crops that they acquired in border towns. An interesting point is that the population during this period was really not against some agricultural experiments.

**Keyword:** Introduction, agriculture, Buryatia, common millet, cultivation, crops, barley, wheat, Huns, Kurykans, history, Mongolian, Bronze Age

Несмотря на то, что на территории Байкальской Сибири было найдено не так много археологических материалов, свидетельствующих о наличии очагов челове-

ской цивилизации в эпоху палеолита, тем не менее они говорят о глубокой древности заселения этого края. Например, предварительные данные радиоуглеродного анализа

антропологических находок на археологической стоянке Туяна в Тункинской рифтовой долине датируются от 31 до 60 тыс. лет [1].

Вопрос о том, когда именно появилось земледелие на территории Прибайкалья, остается открытым. Несомненно, здесь представляет особый интерес вопрос, к какому укладу относились хозяйства древних жителей Байкала: было ли хозяйство кочевым или оседлым, выращивали ли они культурные растения, к какому виду относятся эти растения, которые они интродуцировали, откуда они их привезли и т.д. Вполне вероятно, что возникновение земледелия на территории Бурятии стало основной для интродукции растений с других территорий.

Целью настоящей работы является воссоздание научно достоверной картины истории интродукции на территории Бурятии до XVII в. на основе комплексного изучения архивного и библиографического материалов.

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

Методы научного наблюдения: анализа, синтеза, описание, объяснение, индукция, дедукция.

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

*Бронзовый век.* По мнению Ю.С. Гришина, явных свидетельств наличия земледелия в бронзовом веке (XVIII-XIII в. до н.э.) нет, древнее население *глазковской* культуры в основном занималось охотой, рыболовством и собирательством. При этом к возможным растениям, которые собирали древние охотники, можно отнести «коренья сараны, вьюна и некоторых других видов растений, а также семена вьюнкового горлаповилыцы и дикой гречихи-дикуши...» [2].

Тем не менее, по мнению А.П. Окладникова, земледелие на территории Байкала появилось задолго до гуннского времени, то есть еще две с половиной тысячи лет назад. Земледельческая культура Китая бронзового века вполне могла поспособствовать возникновению земледелия на территориях Прибайкалья и Монголии. На это указывают многочисленные археологические доказательства: каменные жернова, зернотерки, куранты, глиняные сосуды-триподы, (появляющиеся только при возникновении земледелия), которые были найдены только в Забайкалье и в Китае. Кроме того, А.П. Окладников указывает, что найденный на территории Кяхты крупный бронзовый сошник для плужного земледелия исполь-

зовался только с применением тягловой силы крупного рогатого скота [3].

Вероятно, первыми интродуцированными растениями явились просо обыкновенное, ячмень, но какое именно растение было впервые посажено и получен урожай, конечно, ответа пока нет.

*Период хуннов.* Одно из первых упоминаний о существовании озера Байкал было дано в китайских летописях, сведения из которых стали основой книги «Записки о Монголии» выдающегося российского китаиста XIX в. Н.Я. Бичурина. Описывая историю монгольской империи хуннов, ученый говорит, что в 119 году до Рождества Христова китайцы направили две армии в земли хуннов. Одна из них во главе Хо-цой-бина выиграла сражение над хуннами: «... Хо-цой-бин с 50 000 конницы пошел восточную дорогою. Он побил 70 000 хуннов и всходил на горы над Байкалом» [4].

Кроме того, существует также предание о некоем ханском после Су У, попавшем в плен к хуннскому правителю, который выслал его пасти овец рядом с великим озером. Впоследствии ханский дипломат благополучно вернулся на родину [5]. Интересным моментом в этой истории является то, что перешедший на сторону хуннов военачальник поначалу поместил дипломата за отказ служить хуннам в яму, где хранилось зерно [6].

Отметим, что еще в китайских летописях периода империи Хань говорилось о том, что племена (сюнну) хунну занимались земледелием и выращивали просо [7]. Кроме того, указывают на такие китайские летописи периода Хань (I век н.э.), как «Владыка распределения проса», в которых были даны сведения о посевах, подходящих для северных степей, которыми управляли некие управляющие из числа людей хунну [7]. Выдающийся российский китаист XIX века Бичурин Н.Я. также упоминает, что в письменных источниках древнего Китая говорится о наличии земледелия у хуннов [8].

Что касается земледелия на территории Байкала, то Кельберг П.А. еще в 1861 г. одним из первых упоминает о том, что в Баргузинских, Хоринских, Селенгинских, Тугнуйских землях и близ Иволги существуют следы обширных древних оросительных каналов, и делает вывод, что «... здешние древние жители были земледельцы, это несомненно еще и потому, что за Байкалом находят нередко чугунные сошники особенной, чрезвычайно особенной формы» [9]. Предположения о том, что на территории

Байкала сельскохозяйственные культуры начали возделывать с древних времен, подтвердились несколько позже. Археологические исследования ряда древних поселений на территории Бурят-Монгольской АССР, выполненные под руководством Г.П. Соновского, показали, что они принадлежат хуннскому периоду (с 220 года до н. э. по II век н. э.), и свидетельствуют об их преимущественно оседлом характере хозяйства – были найдены зерна проса, остатки керамической сосуда, следы обработки железа и т.д. [10]. Более поздние исследования подтвердили земледельческий уклад населения Иволгинского городища – обнаружены сошники, наконечники лопат, мотыг, серпов, зернотерок. Более того, было определено, какие злаки выращивали ее жители. Кроме проса были найдены зерна пшеницы, а также зерна пленчатого и голозерного многорядного ячменя (*Hordeum vulgare L.*). При этом зерна ячменя были похожи на современные китайские зерна ячменя, а зерна пшеницы по форме более всего напоминали современные китайские пшеницы видов *Tr. Compactum* и *Tr. Asterium* [11]. А.В. Давыдова отмечает, что найденные в Иволгинском городище сошники являются чугунами, местного происхождения, что указывает на оседлость населения, поскольку только при оседлом образе жизни металлургия достигает высокого уровня [12].

Бесспорно, развитие металлургии у хуннов тесно связана с Китаем, где чугун начали изготавливать еще в начале первого тысячелетия до нашей эры. Возможно, поначалу металлургией и земледелием занимались китайские пленные и перебежчики, постепенно и хунны освоили эти занятия в целях защиты от внешних врагов. Например, в Шицзи и Цяньханьшу прямо указывается, что «...в следующем году, 66, хунны, досаждая, что Западные владения соединенными силами напали на Чешы, отправили восточного и западного предводителей, с каждого с 10 000 конницы, для заведения земледелия в Западной стороне, чтоб впоследствии стеснить Усунь и Западный край» [7].

Таким образом, в период хуннов население на территории Бурятии выращивало такие культурные растения, как просо, и не исключается возможность, что с территории Китая были завезены и интродуцированы такие культуры, как пшеница, ячмень.

В городищах курумчинского периода (VI-X вв. н.э.) на территории Прибайкалья также найдены такие орудия земледелия, как чугуны сошники, железные серпы,

жернова, так и остатки зерен проса обыкновенного, пшеницы крупнозернистой, ржи, ячменя, конопли, что говорило о том, что земледелие являлось важным компонентом хозяйства курыкан. Кроме того, вблизи городищ найдены следы древних пашен в виде длинных параллельных линий. По всей видимости, курыкане относились преимущественно к скотоводческим племенам несмотря на то, что земледелие играло важную роль в их хозяйственной деятельности, поскольку в погребениях в основном были найдены остатки домашних животных (овец, коров). К этому следует добавить, что в петроглифах курумчинского периода представлены в основном домашние животные [13]. Дашибалов Б.Б. указывает, что курыкане относились к племенам с полукочевым типом хозяйствования, и найденные поселения полужемляночного вида на Уге, Усть-Талькине и Шохтое следует относить к зимникам, а другие поселения относить к летникам. Обнаруженные сошники говорят о том, что курыкане занимались плужным земледелием, а найденные каменные жернова говорили о том, что урожая, которые они получали, были достаточно значительными, так что зернотерки с ним не справлялись [14]. По мнению А.П. Окладникова земледелие у курыкан связано с их связью с древними согдийскими племенами, предками узбеков и таджиков, которые основали земледельческие колонии на территории Прибайкалья [6].

Таким образом, не исключено, что в курумчинский период курыкане, имея связь с согдийскими земледельческими племенами, привнесли на территорию Бурятии культуры пшеницы крупнозернистой, ржи, ячменя, конопли.

Здесь следует отметить, что до определенного времени в европейских академических и общественных кругах считалось обыденным, что для кочевых народов, в том числе и древних монголов, земледелие было чуждым занятием и что продукцию растениеводства они получали путем собирательства [15], либо же путем товарного обмена из Китая, либо же путем вторжений на его территорию, в результате которых они получали от китайцев дань, включающую такие злаковые, как рис, просо и пшеница [16]. Этот взгляд был обусловлен отсутствием или недостатком археологических данных о том, какими продуктами питались кочевые племена. Вне сомнений, невозможно переоценить вышеуказанные данные советских исследователей, которые

впервые указывали на относительно развитое земледелие в период хунну на территории современной Бурятии.

Вызывают интерес результаты исследования международного коллектива ученых, которые в 2020 г. опубликовали научный отчет «Диверсификация экономики подерживала рост монгольских кочевых империй» [17], показавший, что население, проживавшее на территории современных Монголии и Бурятии, с 800 г. до н.э. стало активно включать в свой рацион растительный компонент. Анализ археолого-биологических данных из 60 памятников археологии периода с 4400 г. до н.э. до 1375 г. н.э. был направлен на определение того, какими продуктами питался человек в эти исторические периоды – растительными или белковыми, учитывая различия соотношения стабильных изотопов углерода в костных коллагенах и биоапатитах, содержащихся в останках людей и животных в эти времена. Результаты данных показали, что потребление проса (*Panicum miliaceum L.*) увеличивалось именно в имперские периоды. Эти данные указывают на увеличение именно прямого потребления, то есть выращенного проса. Падение кочевых империй, в свою очередь, повлияло на уменьшение растительного компонента в рационе питания человека в эти времена.

Вполне возможно, что, когда русские землепроходцы пришли на территорию современной Бурятии в середине XVII в., население хотя и выращивало просо, но использовало его лишь как добавочный компонент к питанию, которое в основном было мясо-молочным [15].

Хозяйства населения в период существования территории Бурятии в составе Монгольской империи (XIII-XVII вв.) в основном базировались на мясо-молочном скотоводстве. При этом если западные буряты (Предбайкалье) относились к культуре полуседлого скотоводства, при котором корма заготавливались на зиму, то восточные буряты относились к классическим представителям кочевых хозяйств. Земледелием в основном занимались западные буряты, которые выращивали такие культуры как просо обыкновенное, гречиха, ячмень [6].

С тех пор как были получены сведения об удивительном озере Байкале, его природа и природные условия начали интересовать путешественников, ученых и исследователей. Кроме того, с середины XVII века на территории Бурятии появились множество русских поселений, жители которых,

по всей вероятности, привезли с собой семена культурных растений, успешно прижившихся в этом суровом краю.

Как отмечает академик А.П. Окладников, для упрочнения завоевания русскими земель в Приангарье и возле Байкала, которые ранее принадлежали ангаро-байкальским бурятским родам, требовалось не только строительство сети укрепленных форпостов на его территории, но и увеличение количества вблизи них крепких крестьянских поселений в виде заимок, деревень, сел, экономической основой которой должно было стать хлебопашество. При этом он предполагал, что первыми культурными растениями, которые были посажены русскими крестьянами на территории Бурятии, были ячмень и конопля [18].

Известно, что духовный лидер старой веры Аввакум Петров был отправлен в ссылку в Сибирь в период 1653 по 1655 годы. Позже в своей книге «Житие протопопа Аввакума», которая считается первым русским литературным произведением, он впервые описал природу Байкала и быт русских людей, которые проживали возле озера. По его словам, они не только промыслили рыбой, но и занимались землепользованием: «...лук на них растет и чеснок, – больше романовского луковицы, и сладок зело. Там же растут и конопля богораселенная, а во дворах травы красныя и цветны и благовонны гораздо» [19].

Румынский исследователь Николай Милеску Спафарий, который в 1675-1678 гг. совершил путешествие из Москвы в Китай через Сибирь описал, что хлеба и разных овощей в этом краю выращивают разных, в основном, видимо, китайских, поскольку монголы, используя близость с Китайским государством, активно торговали с казаками [20].

Голландский купец Избрант Идес во главе московского посольства совершил путешествие в Китай в период 1692-95 гг. Интересны его заметки об Удинске: «... Для земледелия эта область малопригодна, так как очень гориста. Но здесь много огородов, где выращивают капусту, репу, морковь и т.д. Нигде вокруг не видно ни одного дерева» [21].

О том, что жители экспериментировали и были готовы экспериментировать с культурными растениями в условиях байкальского климата, ясно указывал шотландский ученый Джон Белл, который посетил Бурятию в составе русского посольства в Китай. Он говорил, что климат в южной части Байкала более мягкий, чем северная его часть,

поэтому здесь жители сажают пшеницу, рожь, ячмень, овес, сарацинское пшено, то есть рис, а также горох, и, кроме того «... множества былий и трав поваренных. Жители тамошние отведывали еще садить плодородных деревьев; но думают, что и в нем получать великий успех» [21], из-за короткой зимы, продолжающийся не так долго.

Вместе с тем о том, что жители Байкала использовали китайские культурные растения, писал немецкий и русский ученый П.С. Паллас, который значительно позже, в 1772–1773 гг., посещал Бурятию, будучи руководителем физической академической экспедиции в Сибирь по заданию Петербургской Императорской академии наук и художеств. Паллас описывает, что китайцы, которые живут в пограничном городке напротив Кяхты, на своих огородах выращивают лук, чеснок, капусту, огурцы, редьку, шпинат, сельдерей, петрушку, репу, свеклу, цветную капусту и охотно делятся своей продукцией с русскими жителями [22].

### Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что земледелие на территории Байкальской Сибири появилось, возможно, еще в бронзовом веке, то есть еще две с половиной тысячи лет назад. Археологические данные показали, что в хуннский период на территории Байкальской Сибири выращивали кроме проса такие культуры, как пшеница, зерно пленчатое, голозерный многорядный ячмень. В период существования территории Бурятии в составе Монгольской империи выращивались такие культуры, как просо обыкновенное, гречиха, ячмень. С приходом русских поселенцев земледелие наряду с рыбным и пушным промыслом, стало основой экономики хозяйств населения.

### Список литературы

1. Васильев С.В., Боруцкая С.Б., Роговский Е.О., Бердникова Н.Е., Липнина Е.А., Бердников И.М. Сообщение об антропологических находках на палеолитическом местонахождении Туяна в Тункинской рифтовой долине (Юго-Западное Прибайкалье) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Геоархеология. Этнология. Антропология». 2017. Т. 22. С. 150–165.
2. Гришин Ю.С. Бронзовый и ранний железные века Восточного Забайкалья. М., 1975. 137 с.
3. Окладников А.П. О начале земледелия за Байкалом и в Монголии // Древний мир. Сборник статей. М., 1962. С. 418–431.
4. Бичурин Н.Я. Записки о Монголии. М.: ЁЁ Медиа, 2024. 404 с.
5. Раднаев Б. Древний Китай и Байкал // Буряад Унен. 27 октября 2020 г. URL: <https://burunen.ru/news/culture/73162-drevniy-kitay-i-baykal/> (дата обращения: 11.03.2024).
6. История Сибири с древнейших времен до наших дней. В 5 т. Т. 1. Древняя Сибирь. М.: Нобель пресс, 2024. 455 с.
7. Бань Гу. Хань шу («История Хань»): в 8 т. / Пер. с китайского В.В. Башкеева под ред. М.Ю. Ульянова. М.: ИДВ РАН – Восточная литература, 2021.
8. Бичурин Н.Я. (Иакинф) Собрание сведений о народах, обитавших в Средней Азии в древние времена. М.: ЁЁ Медиа, 2024. 471 с.
9. Кельберг П.А. Поливные поля в Забайкальском крае // Записки РГО 1861 года. Т. 1. М.: Нобель пресс, 2024. С. 180–183.
10. Сосновский Г.П. О поселении гуннской эпохи в долине реки Чикоя (Забайкалье) // Краткие сообщения о докладах и полевых исследованиях Института истории материальной культуры. Т. XIV. Л., 1947. С. 35–39.
11. Сосновский Г.П. Нижне-Иволгинское городище // Проблемы истории докапиталистических обществ. Ежемесячный исторический журнал, издаваемый Гос. акад. истории материальной культуры им. Н.Я. Марра. М.; Л.: ОГИЗ, Соцэкгиз, 1934–1935. 1934. № 7/8, июль/авг. 240 с.
12. Давыдова А.В. Иволгинский археологический комплекс. Иволгинское городище. СПб., 1995. Т. 1. 287 с.
13. Асеев И.В. Прибайкалье в средние века (по археологическим данным). Новосибирск. 1980. 153 с.
14. Дашибалов Б.Б. Археологические памятники курган и хори. Улан-Удэ, 1995. 194 с.
15. Окладников А.П. Очерки из истории западных бурят-монголов (XVII–XVIII вв.). 2-е изд. / отв. ред. Э.Р. Рыгдылон. М.: ЁЁ Медиа, 2024. 390 с.
16. Давыдова А.В., Шилов В.П. К вопросу о земледелии у гуннов // Вестник древней истории. 1953. № 2. С. 193–201.
17. Shevan Wilkin, Alicia Ventresca Miller, Bryan K. Miller, Robert N. Spengler III, William T. T. Taylor, Ricardo Fernandes, Richard W. Hagan, Madeleine Bleasdale, Jana Zech, S. Ulziibayar, Erdene Myagmar, Nicole Boivin & Patrick Roberts. Economic Diversification Supported the Growth of Mongolia's Nomadic Empires / University of Colorado Museum of Natural History. Scientific Reports. 2022. DOI: 10.1038/s41598-020-60194-0.
18. Житие протопопа Аввакума / Ред. Бобров А.Г. М.: Наука, 2019. 456 с.
19. Спафарий Н.М. Сибирь и Китай. М.: Нобель пресс, 2024. 517 с.
20. Избрант Идес и Адам Бранд. Записки о русском посольстве в Китай (1692–1695). М.: Нобель пресс, 2024. 404 с.
21. Белл Д. Белевы путешествия через Россию в разные азиатские земли; а именно: в Испаган, в Пекин, в Дербент и Константинополь: в 3 ч. / пер. с фр. Михайло Попов. М.: Нобель пресс, 2024. 1776 с.
22. Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям Российского государства. Часть третья. Половина первая. М.: Нобель пресс, 2024. 655 с.

СТАТЬИ

УДК 502.4:504(571.17)  
DOI 10.17513/use.38225

**ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ  
НА ТЕРРИТОРИЮ МУЗЕЯ-ЗАПОВЕДНИКА  
«ТОМСКАЯ ПИСАНИЦА» КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**<sup>1</sup>Брель О.А., <sup>1</sup>Кайзер Ф.Ю., <sup>1,2</sup>Конева О.П., <sup>1</sup>Панфиленко С.А., <sup>1</sup>Чернов Д.А.**

*ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, e-mail: brel\_o\_a@mail.ru;  
ГАНК «Кузбасский музей-заповедник «Томская Писаница», Кемерово, e-mail: olya.ba.98@mail.ru*

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема влияния рекреационной нагрузки на особо охраняемые природные территории Кемеровской области – Кузбасса, к которым относится музей-заповедник «Томская Писаница». Основной информационной базой исследования послужили работы российских и зарубежных авторов, статистические данные, а также натурные (полевые) наблюдения авторов статьи. В качестве общенаучных и специальных географических методов выступили описательный, картографический, статистический методы, а также метод полевых исследований. Авторами проведен анализ динамики посещений музея-заповедника, определены места наибольшего скопления людей на исследуемой территории, по этим данным составлена тепловая карта с использованием алгоритма «ядерная оценка плотности» в ГИС, выявлены основные факторы влияния рекреационной деятельности на территорию музея-заповедника. Определены максимальная допустимая нагрузка и максимальная (фактическая) емкость территории, а также рассчитана рекреационная нагрузка на территорию музея-заповедника «Томская Писаница». Кроме того, в ходе исследования были выявлены преимущественно механические факторы загрязнения территории, которые зависят в основном от деятельности человека. Полученные результаты исследования позволили обозначить рекомендации для упорядочения потоков посетителей и равномерного распределения рекреационной нагрузки на территории музея-заповедника.

**Ключевые слова:** музей-заповедник, рекреационная нагрузка, Томская Писаница, туризм, рекреационная емкость территории

*Исследование выполнено с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием КемГУ в рамках соглашения № 075-15-2021-694 от 05.08.2021, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Кемеровский государственный университет» (уникальный идентификатор контракта RF----2296.61321X0032).*

**ASSESSMENT OF THE RECREATIONAL LOAD  
ON THE MUSEUM-RESERVE TERRITORY  
«TOMSKAYA PISANITSA» IN THE KEMEROVO REGION**

**<sup>1</sup>Brel O.A., <sup>1</sup>Kaizer Ph. Yu., <sup>1,2</sup>Koneva O.P., <sup>1</sup>Panfilenko S.A., <sup>1</sup>Chernov D.A.**

*Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: brel\_o\_a@mail.ru;  
Kuzbass Museum-Reserve «Tomskaya Pisanitsa», Kemerovo, e-mail: olya.ba.98@mail.ru*

**Annotation.** The article deals with the problem of the influence of recreational load on the specially protected natural territories of the Kemerovo region – Kuzbass, which include the museum-reserve «Tomskaya Pisanitsa». The main information base of the study was the work of Russian and foreign authors, statistical data, as well as field observations of the authors of the article. Descriptive, cartographic, statistical methods, as well as the method of field research were used as general scientific and special geographical methods. The authors analyzed the dynamics of visits to the museum-reserve, identified the places of the largest concentration of people in the study area, based on these data, a heat map was compiled using the «nuclear density assessment» algorithm in GIS, the main factors of influence of recreational activities on the territory of the museum-reserve were identified. The maximum permissible load and the maximum (actual) capacity of the territory are determined, and the recreational load on the museum-reserve territory «Tomsk Pisanitsa» is calculated. In addition, the study revealed mainly mechanical factors of pollution of the territory, which depend mainly on human activity. The obtained research results made it possible to identify recommendations for streamlining the flow of visitors and evenly distributing the recreational load on the museum-reserve territory.

**Keywords:** museum-reserve, recreational load, Tomskaya Pisanitsa, tourism, territory recreational capacity

*The study was carried out using the equipment of the Center for Collective Use of Scientific Equipment of Kemerovo State University within the framework of agreement No. 075-15-2021-694 dated 08/05/2021, concluded between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the federal state budgetary educational institution of higher education “Kemerovo State University” (unique contract identifier RF----2296.61321X0032).*

Сегодня внутренний туризм – неотъемлемая составляющая развития регионов Российской Федерации. Одним из направлений развития туризма в нашей стране является экологический вид туризма, использующий потенциал особо охраняемых

природных территорий, что в свою очередь требует особого подхода к регулированию туристских потоков на этих дестинациях и, как следствие, рекреационных нагрузок. В отечественной и зарубежной литературе приведено множество примеров анализа рекреационной нагрузки на ООПТ различного уровня [1; 2], разработан и усовершенствован ряд методик [3; 4], апробированы цифровые технологии [5; 6] и многое другое. В связи с актуальностью и разнообразием исследований по заявленной теме, а также с их практической значимостью Правительством РФ были учреждены «Правила организации и осуществления туризма, в том числе обеспечения безопасности туризма на ООПТ федерального значения», в которых также уделяется внимание вопросам рекреационной нагрузки (Постановление вступает в силу 01.09.2024 г.) [7]. Под рекреационной нагрузкой понимается степень непосредственного влияния отдыхающих на природные комплексы или рекреационные объекты, которая выражается числом людей или человеко-дней на единицу площади или на рекреационный объект за определенный промежуток времени (обычно за день или год) [8].

В этой связи изучению состояния отдельных аспектов оценки рекреационной нагрузки на территории Кузбасского музея-заповедника «Томская Писаница» посвящено значительное количество работ [9-11], однако его комплексному изучению, в том числе с использованием ГИС-технологий, не уделялось должного внимания. Поэтому в данной ситуации актуализируется научная задача комплексной оценки рекреационной нагрузки на территорию музея-заповедника «Томская Писаница» Кемеровской области.

#### Материалы и методы исследования

Кузбасский музей-заповедник «Томская Писаница» расположен в Яшкинском муниципальном округе Кемеровской области – Кузбасса, недалеко от деревни Писаная. Площадь музея-заповедника составляет 156 га, при этом 90% территории занимает естественный сосновый бор, что повышает уникальность и привлекательность данной дестинации [11]. Территория музея-заповедника с богатой флорой и фауной, чистым воздухом и благоприятным микроклиматом является уникальной экосистемой, расположенной недалеко от крупного промышленного центра Сибири – г. Кемерово. Кроме того, музей богат своими экспозициями, которые затрагивают историю, археологию, природу

региона (древнее святилище «Томская Писаница», зоопарк, Шорский улус Кезек, мифология и эпос народов Сибири, музей наскального искусства Азии и др.). На территории музея-заповедника действует целый ряд экскурсионных программ, активно развиваются историко-культурный, экологический, событийный и другие виды туризма [12].

С 2019 года музей-заповедник исключен из территории природного заказника «Писаный». Это означает, что музей может с наименьшими ограничениями проводить туристскую и другую деятельность, что становится причиной одной из важнейших проблем – большой рекреационной нагрузки на территорию.

В связи с этим целью исследования является определение рекреационной нагрузки на территорию музея-заповедника «Томская Писаница» для последующей разработки рекомендаций по оптимизации состояния территории. Основной информационной базой исследования послужили работы российских и зарубежных авторов, статистические данные, предоставленные дирекцией музея-заповедника, а также натурные (полевые) наблюдения авторов статьи. В качестве общенаучных и специальных географических методов выступили статистический, описательный, картографический, а также метод полевых исследований.

В рамках данного исследования авторами применена методика оценки рекреационной нагрузки на особо охраняемые природные территории (Абдуллина Д.Р., Мальцева Н.Н., Потравный И.М.) [13] и алгоритм расчета данной методики, предложенный Павленко И. и Киренковой Э. для определения максимальных и минимальных нагрузок [14]. Согласно указанной методике первым шагом в нашем исследовании был расчет максимально допустимой нагрузки на территорию музея-заповедника. Этот параметр определяет максимальное количество посетителей, которое может быть безопасно принято на данной территории без негативного влияния на ее природные и экологические характеристики (1):

$$M_{\text{нагрузка}} = Q_{\text{ж}} + Q_{\text{теп}} + Q_{\text{хл}} + Q_{\text{т мс}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{ж}}$  – постоянное число местных жителей и обслуживающего персонала;  $Q_{\text{теп}}$  – количество посетителей в теплый период;  $Q_{\text{хл}}$  – количество посетителей в холодный период;  $Q_{\text{т мс}}$  – количество посетителей в межсезонье [14].

В качестве данных о постоянном населении близлежащего населенного пункта были взяты данные села Колмогорово (Яш-

кинский муниципальный округ Кемеровской области), так как деятельность проживающих людей в селе прямо или косвенно связана с загрязнением изучаемой территории (загрязнения атмосферного воздуха, загрязнения побережья реки Томь и т.д.). Далее, с использованием рассчитанной максимальной нагрузки, определяется максимальная рекреационная емкость территории на основе формулы (2):

$$\Sigma_{\text{макс.}} = (M_{\text{нагрузка}}/S_{\text{пл}}) \times k \times f \times g \times j \times q, \quad (2)$$

где  $S_{\text{пл}}$  – общая площадь изучаемой территории;  $k$  – коэффициент охвата предназна-

ции сетями канализации;  $f$  – коэффициент охвата дестинации системой сбора, хранения, транспортировки и утилизации твердых бытовых отходов;  $g$  – степень влияния на ООПТ;  $j$  – коэффициент восстановления природной среды;  $q$  – коэффициент рекреационной освоенности территории [14].

### Результаты исследования и их обсуждение

На территории музея можно выделить наиболее посещаемые зоны: места массовых мероприятий, наиболее популярные экспозиции под открытым небом и др. (рис. 1).

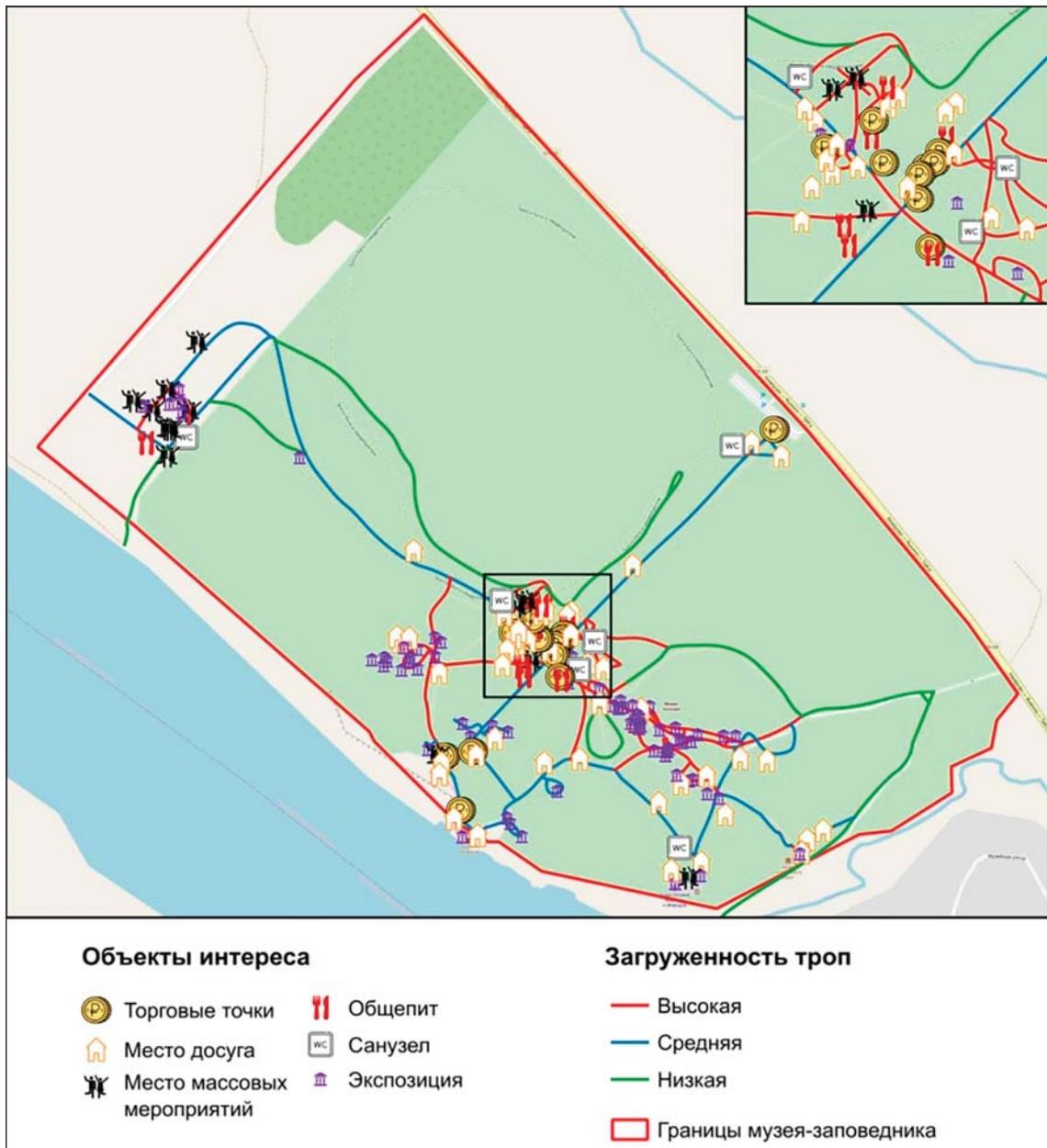


Рис. 1. Дорожно-тропиночная сеть и наиболее посещаемые места музея-заповедника (составлено авторами)



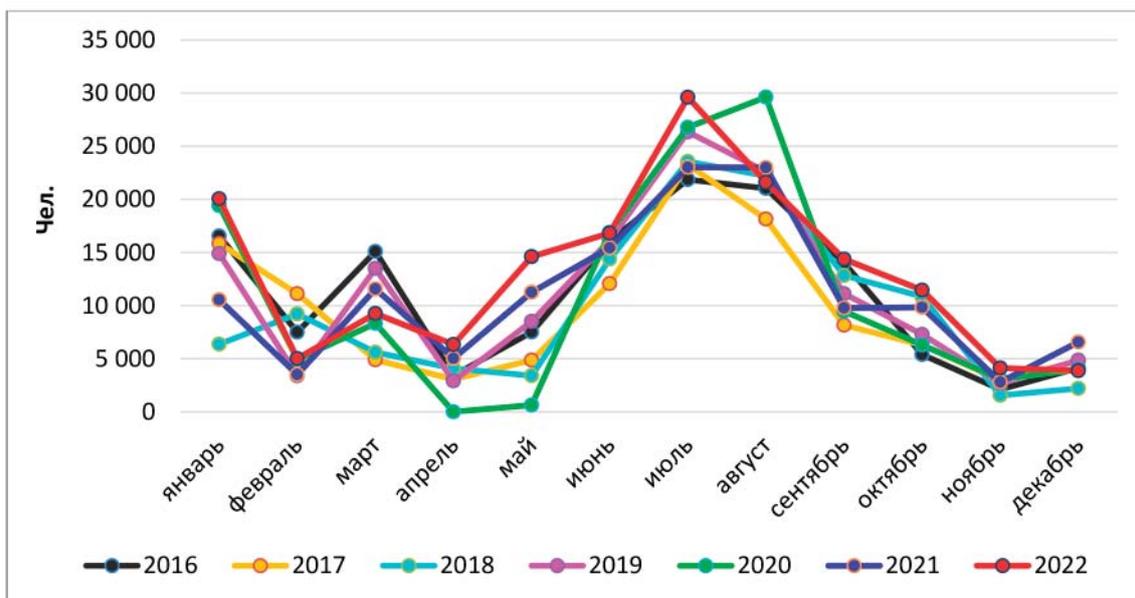


Рис. 4. Динамика посещаемости музея-заповедника в 2016-2022 гг. (по месяцам)

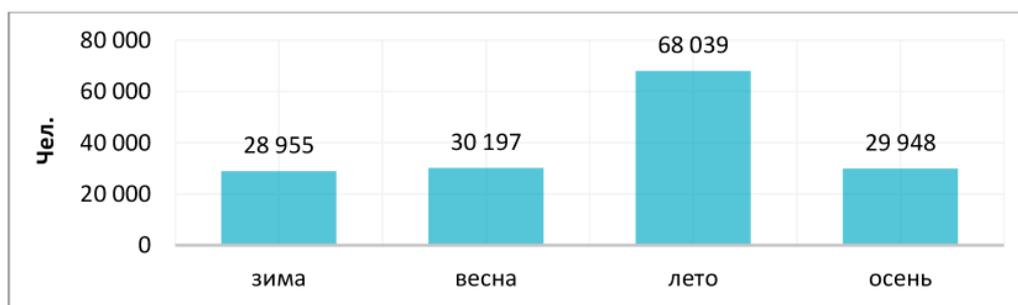


Рис. 5. Посещаемость за 2022 год по сезонам

Необходимо отметить, что не только места массовых мероприятий и экспозиции, но и вся территория музея-заповедника в разной степени подвергается рекреационным нагрузкам, которые приводят к определенным негативным последствиям. Ежегодно территорию музея-заповедника посещает большое количество человек, как организованными группами, так и индивидуально. На рисунках 3 и 4 отображена динамика посещаемости территории музея-заповедника в период с 2016 по 2022 г. (общее количество посетителей за год и по месяцам).

На рисунке 4 отражена следующая тенденция: наибольшая посещаемость приходится на теплое время года (лето), наименьшее количество людей посещают музей-заповедник зимой, исключением является январь с новогодними каникулами, празд-

никами Рождества и Крещения, когда в музее отмечается рост посетителей, несмотря на зимние морозы.

Тенденцию посещаемости территории музея-заповедника «Томская Писаница» по временам года подтверждают и показатели за 2022 г. (рис. 5). Путем анализа представленных данных (количество посетителей: в теплый период – 68 039 чел., в холодный период – 28 955 чел., в межсезонье (весна, осень) – 60 145 чел.) и с учетом постоянного числа местных жителей и обслуживающего персонала (1678 чел.) было получено значение максимально допустимой нагрузки территории:

$$M_{нагрузка} = 1678 + 68039 + 28995 + 60145 = 158857 \text{ чел.}, \quad (1)$$

За семь лет наблюдений именно 2022 год стал самым посещаемым. Причинами это-

го, на наш взгляд, являются «послековидный» период, популяризация «Пушкинской карты», рост внутреннего туризма и др. Соответственно, именно в 2022 году исследуемая территория испытывала на себе наибольшую рекреационную нагрузку.

В рамках данного исследования авторами была применена методика, разработанная группой ученых: Абдуллиной Д.Р., Мальцевой Н.Н., Потравным И.М. [13], для оценки рекреационной нагрузки на особо охраняемые природные территории (ООПТ). Данная методика представляет собой один из самых современных подходов к оценке рекреационных нагрузок на ООПТ. Она основывается на комплексном анализе и учете факторов, влияющих на степень рекреационной освоенности территории и связанных с ее интеграцией в хозяйственный оборот. Это позволяет получить более объективные и надежные результаты, которые могут быть использованы для разработки эффективных стратегий управления рекреационными ресурсами и охраны природы на территории.

Авторы руководствовались определенным алгоритмом расчета данной методики, который предложили И. Павленко и Э. Киренкова (определение максимальных и минимальных нагрузок) [14]. В результате получились следующие данные:

Мнагрузка = 158 857 чел.; Спл = 156 га.

Коэффициент охвата территории сетями канализации (к) принимается за 0,1, так как исследуемая дестинация не охвачена сетями канализации:

$$k = 0,1/156 * 100\% = 0,064.$$

Коэффициент охвата рекреационной территории системой сбора, хранения, транспортировки и утилизации ТБО рассчитывается следующим образом:

$$f = 156/156 = 1.$$

Значения данного коэффициента варьируют от 0,1 до 1,0.

Коэффициент, учитывающий категорию влияния на ООПТ (g), зависящий от степени уязвимости и статуса особо охраняемой территории, рассчитывается по формуле и данным таблиц, предложенным группой авторов (Абдуллина Д.Р., Мальцева Н.Н., Потравный И.М., 2005) [13]. Учитывая, что исследуемая территория имеет статус особо охраняемой, получаем:

$$g = g_y * g_c = 5 * 25 = 125.$$

Коэффициент (j) принимается исходя из срока самовосстановления природной среды, таким образом, если речь идет о синантропизации растительного покрова, то сукцессия в умеренном климате первой стадии травянистой растительности длится около 10 лет, т. о. j=1.

Коэффициент рекреационной освоенности территории (q) зависит от процента вовлечения территории в хозяйственный оборот. При условии, что 90% территории музея-заповедника «Томская Писаница» занимает сосновый лес, то доля вовлечения территории в хозяйственный оборот составляет 10%, что соответствует q = 0,1.

Максимальная (фактическая) емкость территории музея-заповедника составляет 158 857 чел./га, что позволяет определить максимальную рекреационную емкость территории на основе формулы (2):

$$\sum_{\text{макс.}} = (158857 / 156) \times 0,064 \times 1 \times 125 \times 1 \times 0,1 = 815 \text{ чел./га}, \quad (2)$$

Далее приведен расчет минимальной рекреационной емкости, причем стоит отметить, что данная величина будет рассчитана без учета посетителей, находящихся на исследуемой территории:

$$\sum_{\text{мин.}} = (1678 / 156) \times 0,064 \times 1 \times 125 \times 1 \times 0,1 = 8,6 \text{ чел./га},$$

Чтобы определить оптимальную рекреационную нагрузку на территорию, необходимо рассчитать средний показатель между максимальной и минимальной рекреационной емкостью:

$$\begin{aligned} \sum_{\text{опт.т.}} &= \sum_{\text{макс.}} / \sum_{\text{мин.}} = \\ &= 815 / 8,6 = 95 \text{ чел./га} \end{aligned}$$

Согласно исследованиям института «Росгипролес», допустимые рекреационные нагрузки в зависимости от функциональных зон не должны превышать: в зоне тихого отдыха – 5 чел./га, в зоне прогулочного отдыха – 20 чел./га, в зоне активного отдыха – 100 чел./га [15]. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что рекреационная нагрузка на территорию музея-заповедника «Томская Писаница» находится в пределах допустимых норм, однако она приближается к верхней границе этого диапазона.

По итогу использования данной методики можно утверждать, что она представляет собой оптимальный подход в настоящее время, поскольку позволяет определить как

максимальные, так и минимальные значения вместимости территории. Это позволяет сделать рекомендации более точными и обеспечивает соблюдение установленного регламента с учетом оптимальной нагрузки.

### Заключение

Развитие туризма на территории Кузбасского музея-заповедника «Томская Писаница» является причиной дигрессии природных комплексов – как ландшафта в целом, так и объектов животного и растительного мира, а также экспозиционных комплексов. Можно выделить несколько негативных последствий влияния туризма на территорию: замусоривание, вытаптывание территории, выгул домашних животных, установка палаток, физический ущерб природным, археологическим и историческим памятникам и другие.

Таким образом, механические факторы негативного влияния туризма на территорию музея-заповедника связаны преимущественно с деятельностью человека, и прежде всего с рекреационными нагрузками. Все это приводит к ухудшению эстетических свойств ландшафта, в том числе связанному с синантропизацией растительного покрова, снижению экологической, исторической и культурной ценности территории и т.д.

Применив методику определения рекреационной нагрузки на территории музея-заповедника «Томская Писаница», авторы пришли к выводу, что она находится в пределах допустимых норм, однако приближается к верхней границе этого диапазона. Стоит отметить, что на некоторые зоны оказывается высокая рекреационная нагрузка (например, на центральную зону музея-заповедника). Для того чтобы распределить рекреационную нагрузку на территории равномерно и не допустить ее роста за пределы допустимых норм, авторы исследования предлагают следующие рекомендации.

- Распределение потоков групп отдыхающих по дням.
- Ограничение на размещение новых рекреационных объектов в границах зон массовых скоплений рекреантов, их перераспределение на территории музея-заповедника.
- Ограничение продажи билетов на массовые мероприятия (так как именно на таких мероприятиях территория подвергается колоссальной антропогенной нагрузке).
- Распространение малых ландшафтных форм по пути к удаленным экспозициям, для комфорта посетителей и во избежание

сокращения путей к экспозиции через лес, что приводит к вытаптыванию и появлению новых стихийных троп.

- Продвижение экологического туризма на территории музея-заповедника (например, создание экологических троп).
- Установление сезонного регламента посещаемости (для того чтобы в теплое время года территория не испытывала на себе наибольшую нагрузку) и др.

Таким образом, с одной стороны, туризм является основным источником дохода музея-заповедника «Томская Писаница», с другой – он негативно влияет на природу и экспозиционные комплексы музея. Туристские потоки можно и нужно регулировать так, чтобы рекреационная нагрузка на территорию оставалась в пределах допустимых норм. Для этого необходимо соблюдать рекомендации с целью предотвращения негативного воздействия антропогенных факторов на биологическое и ландшафтное разнообразие территории музея-заповедника.

### Список литературы

1. Степаненко Е.Е., Зеленская Т.Г., Безгина Ю.А., Халикова В.А., Окрут С.В., Зверева О.С. Оценка рекреационной нагрузки на Парк Победы города Ставрополя // Успехи современного естествознания. 2023. № 11. С. 100-104. DOI 10.17513/use.38150.
2. Aliyeva Z., Sakypbek, M., Akymbayeva, A., Assipova, Z., Saidullayev, S. Assessment of recreation carrying capacity of Ile-Alatau national park in Kazakhstan // Geo Journal of Tourism and Geosites. 2020. Т. 29, Vol. 2. P. 460-471.
3. Зиганшин И.И., Иванов Д.В. Методика комплексной оценки рекреационного потенциала особо охраняемых природных территорий // Российский журнал прикладной экологии. 2017. № 2 (10). С. 52-56.
4. Butzmann E., Job H. Developing a typology of sustainable protected area tourism products // Protected Areas, Sustainable Tourism and Neo-liberal Governance Policies. Routledge. 2020. P. 40-59.
5. Каширина Е.С., Новиков А.А. Использование ГИС для расчета рекреационных нагрузок на особо охраняемых природных территориях // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2016. Т. 22. №. 2. С. 174-181.
6. Rezapouraghdam H., Akhshik A., Ramkissoon H. Application of machine learning to predict visitors' green behavior in marine protected areas: Evidence from Cyprus // Journal of Sustainable Tourism. 2023. Т. 31, Vol. 11. P. 2479-2505.
7. Об утверждении Правил организации и осуществления туризма, в том числе обеспечения безопасности туризма на особо охраняемых природных территориях федерального значения от 21 декабря 2023 г. № 2299 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408165771/> (дата обращения: 13.02.2024).
8. Шубнищина Е.И. Природный туризм в национальном парке и рекреационная нагрузка // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П.Г. Смидовича. 2016. № 17. С. 250-258.
9. Брель О.А. Анализ рекреационной трансформации растительного покрова музея-заповедника «Томская Писаница» Кемеровской области и разработка рекомендаций по оптимизации состояния территории // Биоразнообразии, состоянии и динамике природных и антропогенных экосистем России: Материалы II Всероссийской научно-практи-

ческой конференции, Комсомольск-на-Амуре, 09 декабря 2022 года / Под редакцией Н.М. Чернявской. Комсомольск-на-Амуре: Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет. 2022. С. 26-32.

10. Панфиленко С.А. Особенности синантропизации растительного покрова вдоль дорожно-тропиночной сети музея заповедника «Томская Писаница» // Междисциплинарные подходы в биологии, медицине и науках о Земле: теоретические и прикладные аспекты: Материалы симпозиума XVIII (L) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, приуроченной к 50-летию КемГУ. (Кемерово, 26 апреля 2023 года) / Науч. редактор Ф.Ю. Кайзер. Том Выпуск 24. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2023. С. 73-76.

11. Бабкина О.П. Ландшафтное планирование как важный компонент пространственной организации туристско-рекреационных систем (на примере музея-заповедника «Томская Писаница») // Междисциплинарные подходы в биологии, медицине и науках о Земле: теоретические и прикладные аспекты: Материалы симпозиума XVIII (L) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, приуроченной к 50-летию КемГУ. (Кемерово, 26 апреля 2023 года) / Науч. редактор Ф.Ю. Кай-

зер. Том Выпуск 24. Кемерово: Кемеровский госуниверситет, 2023. С. 15-19.

12. Кузбасский музей-заповедник «Томская Писаница» [Электронный ресурс]. URL: <https://tomskaayapisanitsa.ru/> (дата обращения: 02.02.2024).

13. Абдуллина Д.Р., Мальцева Н.Н., Потравный И.М. Методика определения природной рекреационной емкости территории // Территория и планирование. 2008. № 4 (16). С. 6–18.

14. Павленко И., Киренкина Э. Моделирование нового подхода к оценке экологически допустимой емкости курортно-оздоровительных территорий // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. 2018. № 3 (87). С. 156-165.

15. Пестерева Н.М., Марголин А.М., Белякова М.Ю. О некоторых проблемах методического обеспечения расчета предельно допустимых рекреационных нагрузок на ООПТ федерального значения // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий: сборник статей VIII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (Сочи, 07–09 октября 2021 года). Том 8. Сочи: ГКУ Краснодарского края «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности», 2021. С. 252-263.

УДК 551.324  
DOI 10.17513/use.38226

## АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ ГОРНЫХ КРИОГЕННЫХ СИСТЕМ НА ФОНЕ БЫСТРОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Калов Р.О., Федченко Л.М.

*ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: calov.r@yandex.ru*

**Аннотация.** Основное внимание в статье уделено процессам деградации горных склонов Кабардино-Балкарии, подверженных воздействию многолетней мерзлоты и оледенения. Изложены особенности инфильтрации воды и перемещения обломочного материала. Освещена тенденция корректировки модулирующего влияния водно-ледниковых процессов на интенсивность эрозии грунтов и характера мерзлотного формообразования. Рассмотрена динамика многолетней мерзлоты на ключевых массивах грунта. Произведена оценка состояния фоновых по масштабу многолетнемерзлых слабольдистых мерзлотных отложений. Освещены современные изменения в характере функционирования природных процессов в многолетнемерзлых трещиноватых скальных грунтах. Обоснован прогноз о перспективе существенного повышения тесноты связи условий функционирования криогенных областей с тремя переменными природными факторами: криостатическим давлением, инфильтрацией воды и гидростатическим давлением. Выбор темы исследования обусловлен особой чувствительностью криогенных систем к изменениям климата и критичным повышением рисков ослабления устойчивости скальных грунтов, угрожающих селитебным ландшафтам и объектам жизнеобеспечения в горах. В условиях нарастающих угроз, обусловленных тенденцией многовекторного снижения устойчивости скальных грунтов, необходимы дополнительные комплексные геокриологические исследования, налаживание постоянного мониторинга мерзлотных систем, направленные на выявление всей совокупности современных природных процессов, обуславливающих новый виток снижения стабильности горных склонов.

**Ключевые слова:** многолетнемерзлые отложения, деформация скальных грунтов, трещиноватые породы, инфильтрация воды, криостатическое давление, деятельная толща

## ANALYSIS OF TRENDS IN THE TRANSFORMATION OF MOUNTAIN CRYOGENIC SYSTEMS AT THE BACKGROUND OF RAPID CLIMATE WARMING

Kalov R.O., Fedchenko L.M.

*High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: calov.r@yandex.ru*

**Annotation.** The main attention in the article is paid to the processes of degradation of the mountain slopes of Kabardino-Balkaria, exposed to the effects of permafrost and glaciation. The features of water infiltration and movement of debris are outlined. The tendency to adjust the modulating influence of water-glacial processes on the intensity of soil erosion and the nature of permafrost formation is highlighted. The dynamics of permafrost on key soil masses is considered. An assessment was made of the state of background-scale permafrost, lightly icy permafrost deposits. Modern changes in the nature of the functioning of natural processes in permafrost fractured rocky soils are highlighted. The forecast about the prospect of a significant increase in the close connection between the operating conditions of cryogenic areas and three variable natural factors is substantiated: cryostatic pressure, water infiltration and hydrostatic pressure. The choice of research topic is due to the special sensitivity of cryogenic systems to climate change and the critical increase in the risks of weakening the stability of rocky soils that threaten residential landscapes and life support facilities in the mountains. In the context of growing threats caused by the trend of a multi-vector decrease in the stability of rocky soils, additional comprehensive geocryological studies are needed, establishing constant monitoring of permafrost systems aimed at identifying the entire set of modern natural processes that determine a new round of reduction in the stability of mountain slopes.

**Keywords:** permafrost deposits, deformation of rocky soils, fractured rocks, water infiltration, cryostatic pressure, active strata

За последние десятилетия опасные природные процессы, связанные со стихийным сходом скальных грунтов в Кабардино-Балкарии, фиксируются на участках, где таких явлений не было сотни лет. Ныне обвальными процессами охвачена практически вся высокогорная зона республики. При этом около 70% стихийных опасных природных явлений формируются на высотах свыше 3600 м, ранее функционировавших в условиях отрицательных температур [1].

Выбор темы исследования обусловлен особой чувствительностью криогенных систем к изменениям климата и критичным повышением рисков ослабления устойчивости скальных грунтов, угрожающих селитебным ландшафтам и объектам жизнеобеспечения в горах. Целью работы является исследование ответной реакции горных мерзлотных комплексов на выраженное потепление климата на примере Кабардино-Балкарской Республики.

Задачами исследования являются:

1. Анализ новых тенденций изменения термодинамических процессов в горной криолитозоне, связанных с фазовыми переходами воды.

2. Оценка состояния слабльдистых многолетнемерзлых отложений, обуславливающая современные геокриологические условия функционирования горных экосистем.

3. Обсуждение ответной реакции многолетнемерзлых трещиноватых скальных грунтов на изменения климата.

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

Исследование тенденций динамики горной криосферы произведено по результатам обработки материалов полевых инженерно-метеорологических работ Высокогорного геофизического института.

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

Особенность горных склонов Кабардино-Балкарии, подверженных воздействию оледенения, в том, что объемное содержание льда в многолетнемерзлых слабльдистых грунтах ниже, чем объем их порового пространства. Из-за меньшего количества скрытой теплоты распределение льда и его температура находятся в прямой зависимости от мощности солнечного излучения и среднегодовых термических свойств атмосферы. Под скрытой теплотой при этом понимается количество тепла, поглощаемого или высвобождаемого термодинамической системой при фазовых переходах грунтовой влаги без изменения температуры системы.

На рассматриваемых высотах исследуемой территории практически все типы скальных грунтов с различным гранулометрическим составом и стратиграфическими особенностями являются многолетнемерзлыми слабльдистыми. В зависимости от особенностей макро- и микроструктуры многолетнемерзлых горных пород, содержание в них льда существенно дифференцировано в соответствии с их пористостью: если породы не трещиноватые, то они содержат незначительное количество льда, и наоборот.

На крутых склонах зоны деятельная толща чаще состоит из относительно крупных элементов обломочного материала. Рыхлая часть склоновой толщи удерживается ледяным «скелетом», причем надежнее, нежели угол ее естественного откоса, что связано с малым содержанием льда в грун-

те, ограничивающей ползучесть мерзлотно-го материала.

Многолетнемерзлые слабльдистые грунты в устойчивых климатических условиях, которые до замерзания были рыхлыми, не предрасположены к самопроизвольному деформированию (если не повысится уровень льдистости). На современном этапе деятельная толща в ответ на неизбежные ежегодные процессы промерзания последовательно деформируется над ее подстилающим многолетнемерзлым слоем [2].

Морозное пучение грунта часто ведет к образованию незатвердевшей рыхлой деятельной толщи с нулевым эффективным напряжением, при оттаивании которого приобретает консистенцию вязкой массы [3]. В силу этого на многолетнемерзлом массиве с углом наклона, близким к углу естественного откоса, покрывающей его деятельной толщи, протекает второй деформационный, прерывистый процесс, касающийся данного слоя. В теплый период года применительно к перигляциальным условиям протекает как процесс гелифлюксии, то есть вязкотекучего сползания мелкозернистой оттаявшей деятельной толщи. Динамика деятельной толщи обуславливает вогнутый профиль деформации, а темпы деформирования пропорциональны мощности данного слоя.

В республике деформирование деятельной толщи и ее сползание по кровле многолетней мерзлоты преимущественно вызывают следующие природные процессы:

1. Углубление подошвы деятельной толщи и обусловленное ею таяние порового льда, которое приводит к сдвигу мелкозернистых, ранее скованных льдом отложений. Они в сочетании с уменьшением эффективных напряжений, в силу ограниченных возможностей дренирования, имеют низкое сопротивление смещению, нежели крупнозернистые слои ранее функционировавшей деятельной толщи.

2. Экстремальные проливные дожди, обуславливающие чрезмерное поровое давление, уменьшение эффективных напряжений на кровле многолетнемерзлого массива.

«Отслоение» деятельной толщи от многолетнемерзлых нижележащих пород в последние годы в Кабардино-Балкарии все чаще приводит к интенсивным сдвигам грунтовых масс (потоки обломочного материала, камнепады, сели и т.д.), инициируя регрессию многолетней мерзлоты в силу потери ее теплоизоляции. Данный процесс фактически подвел к формированию новой

деятельной толщ из верхнего слоя части многолетнемерзлых грунтов. Регрессия верхнего слоя ранее многолетнемерзлых пород грозит началом новой крупномасштабной нестабильности, формированием потенциальной плоскости разрушения склона. Дальнейшее снижение устойчивости грунтов неизбежно приведет к порочному кругу последовательных положительных внутриландшафтных обратных связей (рис. 1).

Из рис. 1 несложно понять, что дальнейшее разворачивание пессимистического сценария схемы станет началом цепи нового быстро прогрессирующего разрушения оставшихся структур, способных оказать сопротивление сдвигам. Кроме этого фоновые в республике слабодистые многолетнемерзлые склоны существенно чувствительнее к росту термических показателей, следовательно, временной промежуток реакции на температурные изменения короче. Толщина последних также оперативнее реагирует на потепление климата в силу дефицита буферной скрытой теплоты таяния льда.

Полагаем также, что повышенная чувствительность устойчивости деятельной толщи многолетнемерзлых слабодистых грунтов к количественно возрастающим дождевым осадкам в среднесрочной перспективе станет критичнее. Обозначенное предположение основано на том, что жидкие атмосферные осадки уже смещаются в верхние

высотные отметки, для которых ранее были характерны осадки в виде снега [4].

Сочетание углубления подошвы деятельной толщи с ростом интенсивности дождей вызовет снижение предельного сопротивления деформации грунта, локализованного на кровле многолетней мерзлоты. Следовательно, возрастут риски увеличения частоты отрывов от мерзлоты деятельной толщи на склонах с инициированием гравитационных обвалов. В то же время нельзя однозначно утверждать, что в данном конкретном случае возрастут масштабы опасных природных явлений: если активный слой не будет целиком установившимся, то риски опасной динамики будут лимитироваться тонким слоем протаявших грунтов.

На крутых склонах характер распространения многолетней мерзлоты существенно зависит от мощности солнечной радиации и среднегодовой температуры приземной атмосферы. На склонах с большим углом наклона исследуемой территории мощность деятельной толщи обусловлена ограниченностью снежного покрова – термоизолятора, минимальным содержанием льда в грунтах, а также механизмом кондуктивного теплообмена. Поэтому годовая мощность деятельной толщи особо тесно коррелирует с метеорологическими параметрами, а последние варьируют в зависимости от геометрии и экспозиции склонов [5].



Рис. 1. Схема возможного замыкания круга взаимообусловленных положительных обратных связей в мерзлотной толще

## Характеристики обвалов последних годов в Кабардино-Балкарии [1]

№ п/п	Долина реки (бассейн реки)	Площадь зоны поражения, тыс. м <sup>2</sup>	Абсолютная отметка точки отрыва, м	Средний угол наклона пути, градусы	Дальность выброса с учётом наклона, м	Дата события или период, в который оно произошло
1	Адыл-Су (Баксан)	82	4150	45,3	1350	12.07.–13.08.2018 г.
2		930	4162	25,4	3500	24.04.2019 г.
3	Джанкуат (Адыл-Су, Баксан)	86	3550	22,1	1040	Июнь 2003 г.
4	Башиль-Аузу-Су (Чегем)	55	4000	28,5	800	7.07.–9.07.2019 г.
5		24	3560	40,8	900	2013 г.
6		61	3600	33,0	970	2015 г.
7		74	3650	33,9	1075	2017 г.
8	Болдошке (Башиль-Аузу-Су, Чегем)	115	3720	16,4	1055	12.12.–26.12.2017 г.
9		157	3735	24,9	2540	2000 г.
10	Кулак-Су (Гара-Аузу-Су, Чегем)	202	3790	24,9	1215	2011 г.
11	Кара-Су (Черек Балкарский)	146	3700	30,3	1565	2006–2009 гг.
12		105	3800	27,2	1575	2016 г.
13		80	3320	24,5	1010	2015 г.

В ответ на комбинированные воздействия совокупности природных процессов, характер деформаций на склонах республики видоизменяются от неглубоких нарушений устойчивости, вызывающих только локальные камнепады, до обширных гравитационных деформаций в виде террас, уступов, трещин растяжения, протяженных траншевидных бугров и впадин без ярко выраженных разрывов визуального единства.

Обозначенные природные процессы активизировали гравитационную динамику значительных склоновых массивов, которые вызвали в Кабардино-Балкарии серию обширных обвалов с объемом, измеряемым в миллионах кубических метров, и дальностью выброса в несколько километров. Так, из общего числа зафиксированных в регионе случаев ледово-каменных обвалов, около 77% характеризовались дальностью переноса обломков от 1 до 4 тыс. м (таблица). К примеру, дальность выброса обломочного материала с г. Башкара в 2019 г. составила 3500 м.

Судя по таблице, подавляющее большинство стихийных сходов горных пород приурочено к долинам рек Баксан, Чегем, Черек. Очаги зарождения обвалов варьируют в пределах высотных уровней от 3330 до 4200 м. Авторы предполагают, что в средне- и долгосрочной перспективе наиболее вероятными

факторами усугубления ситуации в криосфере может быть следующий ранжированный ряд частично протекающих и перспективных природных процессов:

- повышение криостатического давления, вызываемое ростом числа годовых циклов и глубиной промерзания и оттаивания грунта, что неизбежно обусловит прогрессирующую дестабилизацию горных склонов;

- гидрогеологические процессы, активизируемые перепадами термических параметров воды в трещиноватых скальных грунтах, быстро снижающих устойчивость горных массивов;

- углубление залегания деятельной толщи, обуславливающее выраженный рост площадей с неустойчивыми грунтами;

- повышение гидростатического давления, вызываемое устойчивым разрастанием трещиноватости горных массивов;

- повышение гравитационной напряженности состояния грунтов, обусловленное углом наклона и геометрией склонов;

- активизация физического выветривания и повышение трещиноватости пород, угрожающей назреванием критической «усталости» скальных грунтов;

- термомеханические процессы, связанные с гранулометрическими параметрами горных пород, обуславливающих неравномерное распределение в них температуры.

В среднесрочной перспективе из изложенного выше ранжированного ряда ожидаемых природных процессов особо тесные связи условий функционирования криогенных областей предположительно будут иметь с тремя переменными факторами: криостатическим давлением, инфильтрацией воды, гидростатическим давлением.

Криостатическое давление в грунтах обусловлено объемным расширением воды (в среднем на 9%) в процессе ее фазового перехода [6]. Но влияние фазового перехода внутри скальной породы ограничивается окружающим грунтом, в том числе мерзлой поверхностной толщей и нижележащей мерзлотой в случае ее повторного промерзания после оттаивания. Процентное изменение объема расширения дифференцировано в зависимости от генезиса скальных грунтов, их структуры, поскольку влага замерзает в порах и трещинах, обуславливая повышение давления и очередную деформацию сдвига горных пород [7]. Величина повышения давления при переходе воды к кристаллической структуре достигает нескольких десятков мегапаскалей. Этого достаточно для разрушения структурных связей в гранулометрическом составе пород, образования и необратимого раскрытия трещин. Но в этой стадии формируются в основном субкритические трещины, при которых силы сдвига все еще меньше, чем уровень сопротивления грунта сдвигу. Следовательно, криостатическое давление приводит к дестабилизации горных пород не в течение одного периода замерзания, а в среднесрочной перспективе.

В микромасштабах ежегодные циклы горных пород вызывают их периодические деформации в связи с попеременным замерзанием и оттаиванием поровой влаги. В данном случае уменьшение прочности пород связано с процессами растяжения и сжатия, ростом пористости грунтов из-за повреждения их микроструктуры.

Применительно к макромасштабам циклических процессов в теплое время года в трещинах скапливается влага в жидкой фазе, а в зимний период вода трансформируется в ледяные клинья, следствием которых является формирование достаточных распирающих сил (конгelifлюкция) с дальнейшим раскрытием и разрастанием трещин.

На горных склонах республики процесс раскалывания скального грунта льдом – одна из наиболее распространенных форм эрозии, что связано с лимитированностью дренирования воды зимой. В деятель-

ной толще многолетнемерзлых пород низкие температуры распространяются от поверхности грунтов вовнутрь, то есть сверху вниз, формируя нижнюю границу промерзания. Следовательно, вода в жидкой фазе замыкается между фронтом зимнего промерзания и кровлей многолетнемерзлых горных пород, сопровождаясь выраженным ростом криостатического давления. В данном случае процессы промерзания и оттаивания обуславливают дестабилизацию и «усталость» склонов лишь для неглубоко локализованных пород в виде возникновение сети трещин. На глубине же в несколько метров ежегодных циклов промерзания и оттаивания нет, в силу чего процесс конгelifракции не играет никакой роли в нарушении устойчивости поверхностных скальных пород [8].

В ряде случаев вода доставляется к очагу ледяного клина методом кривосасывания, то есть доставки влаги из поровых пространств грунта по градиенту температуры. Это механизм подъема воды, при котором она по малым трещинам подсасывается за счет межмолекулярных сил, возникающих между поверхностями породы и влагой. В финале данного процесса происходит сегрегационное льдовыделение, при котором горные породы так же расклиниваются льдом. Такие условия в КБР чаще складываются на высотах около 4000 м, активно вовлекаемых в последние годы в процессы деформации мерзлоты. На этих высотных уровнях градиент температуры держится относительно долго, при котором влага успевает мигрировать из относительно теплых участков грунтов в более холодные. Оптимальный термический интервал для сегрегационного льдовыделения при этом варьирует в пределах  $-3 - -6^{\circ}\text{C}$  [8].

Примечательно, что в криогенной зоне региона широкое распространение получило функционирование воды в жидкой фазе при отрицательной температуре. Это связано со значительной кривизной трещин и пор, снижающих температуру замерзания. Термодинамически стабильная вода изогнутых пор просачивается к ледяным клиньям и линзам, инициируя дальнейший рост последних. При температурах ниже  $0^{\circ}\text{C}$  в пограничном слое между льдом в трещине и скальным грунтом присутствует и тонкая пленка влаги. В случае достижения дополнительной влагой водной пленки, на границе льда и воды кристаллизуется новый лед, вследствие чего возрастает криостатическое давление.

Одновременно в поровой зоне вокруг трещины образуется отрицательное давление из-за переноса воды к трещине. Величина криовсасывания при сегрегации влаги достигает нескольких мегапаскалей. Данный градиент давления обуславливает дополнительный рост клиньев льда, что по существу является несколько иным механизмом дальнейшего разрастания трещин.

Подобно конгелифракции возможности сегрегационного льдовыделения по глубине тоже лимитированы, но в гораздо меньшей степени. Ограничивающими факторами при этом являются существование градиента температуры и величины механических напряжений ниже 200 КПа. Данный процесс, скорее всего, связан с тем, что силы нормальных напряжений эффективно противодействуют усилиям, обусловленным льдовыделением. Глубина, в которой достигаются данные пределы нормальных напряжений, может колебаться в соответствии с пространственной ориентацией и размером трещин, геологическими осо-

бенностями массива, общей топографией местности.

Как отмечено выше, воздействие сегрегационного льдовыделения существенно глубже, чем мощности деятельной толщи, задействованного в ежегодных циклах промерзания и оттаивания. Ледяные клинья, жилы и линзы, образованные сегрегационным льдовыделением, растут значительно глубже деятельной толщи, но растянуты на столетия, а не только во время ежегодных циклов, как в случае конгелифракции. Расширение сегрегационного льда в долгосрочной перспективе может приводить к эффектам рычагов, выраженность которых обусловлена структурой скального грунта (рис. 2).

Судя по рис. 2, глубоко проникая под поверхность горного склона, сегрегационный лед вызывает разрастание трещин за пределы реального диапазона льдовыделения. Оно проявляется в форме развития «усталости» пород, нередко визуально просматриваемой на поверхности склонов наподобие того, что происходит при термомеханических процессах.

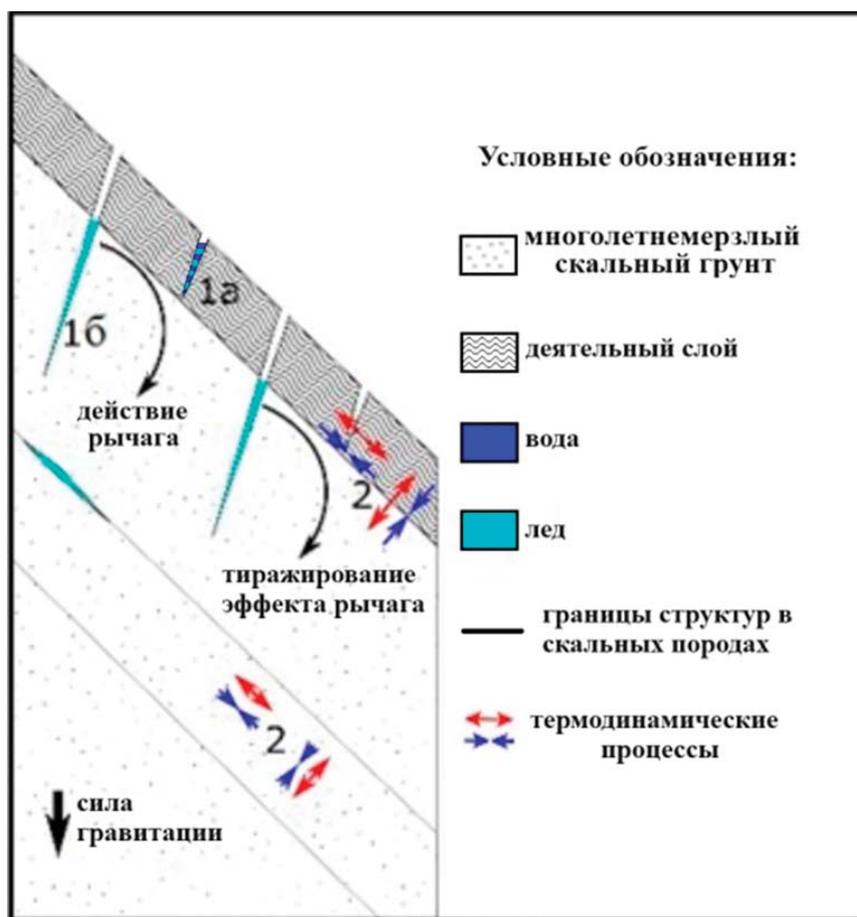


Рис. 2. Схема расширения сегрегационного льда и формирования эффекта «усталости» пород

В деградации многолетнемерзлых грунтов КБР велика роль процесса инфильтрации воды. В зависимости от гидропроводности массивов горных склонов инфильтрация функционирует в разных временных и пространственных масштабах. Применительно к временному масштабу инфильтрация воды выступает в качестве как долгосрочного, так и краткосрочного фактора. В качестве краткосрочного фактора процесс выступает как инициатор возникновения поверхностных сдвигов. Так, в периоды интенсивных дождей из-за достижения экстремального пика гидростатического давления назревают условия для возникновения некритичных локальных селей, камнепадов, оползней, которые нередко остаются вне поля зрения заинтересованных учреждений.

В долгосрочной же перспективе повторяющиеся циклы гидростатического давления будут обуславливать прогрессирующую инфильтрацию воды, что прослеживается на рис. 1. При этом каждый полный цикл сопровождается дебитом кристаллической воды, в результате чего еще больше разрастается система субкритичных трещин по нарастающей, повышая потенциальную нестабильность склонов [8].

В микроструктурном масштабе объемы инфильтрации воды в сравнительно влагодефицитных участках южной позиции на порядок больше из-за повышенной влагоемкости пород, с чем связан значительный уровень напряжения и риски снижения их устойчивости. Иначе формируется гидростатическое давление в зоне высокогорных склонов, поскольку поверхность их грунтов в период снеготаяния покрыта подснежным слоем льда, в силу чего весной фактически блокируется инфильтрация воды.

Однако из-за сезонного роста термических параметров атмосферы и последующего таяния упомянутого слоя льда, осадки в жидкой фазе с некоторым запозданием, но беспрепятственно проникают в грунт. В результате интенсивной инфильтрации возникает мощное гидростатическое давление, которое грозит последовательным разрушением межтрещинных перемычек [9]. Следовательно, резко снижается сопротивление гравитационному сдвигу трещиноватых грунтов. В случае разрушения перемычек, вода с высокой емкостью тепла переносит тепловую энергию в систему глубинных трещин, что вызывает таяние в последних трещинного льда, но уже в более глубоких горных массивах.

Время назревания критичных стадий деградации мерзлотных склонов будет зависеть от характера дальнейшего изменения климата, прочности твердых перемычек пород, состояния ползучего льда в трещинах, частоты и продолжительности аномально жаркой погоды в горах и выпадения ливневых осадков, а также внешнего воздействия эндогенных факторов.

### Заключение

Деградация горной криосферы Кабардино-Балкарии обусловлена ее нарастающей гидротермической изменчивостью. В качестве основного дестабилизирующего мерзлотные склоны республики фактора выступает процесс конгелификации.

Новыми условиями нарастания угроз расширения масштабов деградации и интенсификации опасных природных явлений станут: дальнейшее углубление подошвы деятельного слоя в криосфере, ускоренное необратимое разрастание трещин, возникновение потенциальной плоскости разрушения мерзлотных толщ; вовлечение в зону морозного выветривания высотных поясов, ранее находившихся в условиях стабильных отрицательных температур.

Фактически в регионе сформировался и замкнулся порочный круг цепных положительных обратных связей (процессов) в криосистеме, что может стать началом нового витка крупномасштабного сдвига мерзлотных массивов и экспоненциального роста числа кризисных очагов в горах.

В средне- и долгосрочной перспективе авторы прогнозируют существенное повышение тесноты связи термогидрологических условий функционирования криогенной зоны с тремя переменными природными процессами: динамикой уровней криостатического давления, инфильтрации воды и гидростатического давления.

В условиях нарастающих угроз, обусловленных тенденцией многовекторного снижения устойчивости скальных грунтов, необходимы дополнительные комплексные геокриологические исследования, налаживание постоянного мониторинга мерзлотных систем, направленные на выявление всей совокупности современных природных процессов, обуславливающих новый виток снижения стабильности горных склонов. Только на основе достоверной информации можно выработать адекватный уровень угроз компенсационный механизм обеспечения безопасной жизнедеятельности в горных районах.

Представленные материалы могут представлять интерес для хозяйствующих субъектов, занимающихся инженерной защитой селитебных ландшафтов и новым проектированием объектов инфраструктуры в горах Кабардино-Балкарии.

#### Список литературы

1. Калов Р.О., Эльмурзаев Р.С. Факторы повышения рисков стихийной гравитационной миграции каменных глетчеров на северных склонах Центрального Кавказа // *Экология урбанизированных территорий. Серия: Науки о Земле и смежные экологические науки*. 2023. № 3. С. 11–18.
2. Калов Р.О., Эльмурзаев Р.С. Горная криосфера как особо чувствительная географическая среда к изменениям климата // *Проблемы региональной экологии. Серия: Науки о Земле и смежные экологические науки*. 2023. № 5. С. 59–65.
3. Конищев Н.В. Реакция вечной мерзлоты на потепление климата // *Криосфера Земли*. 2011. С. 15–18.
4. Северский И.В. К проблеме мониторинга изменений оледенения целостных ледниковых систем // *Вопросы географии и геоэкологии*. 2011. № 2. С. 12–18.
5. Kenner R., Arenson L.U., Gramiger L. Mass movement processes related to permafrost and glaciation // *Treatise on Geomorphology* (2d edition, ed. by J.F. Shroder). Elsevier. 2022. Vol. 5. P. 283–303. DOI: 10.1016/B978-0-12-818234-5.00112-7.
6. Аджиев А.Х., Шевченко А.В., Кондратьева Н.В., Юрченко Н.В. Деграляция оледенения Большого Кавказа под воздействием климатических изменений // *Успехи современного естествознания*. 2022. № 6. С. 27–34.
7. Горбунов А.П., Железняк М.Н., Северский Э.В. Роль криогенеза в селеобразовании // *Вопросы географии и геоэкологии*. 2017. № 3. С. 83–90.
8. Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.Х. Катастрофические явления последних десятилетий, связанные с деграцией ледников и мерзлоты в горах // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2023. Т. 87, № 7. С. 1065–1078. DOI: 10.31857/S2587556623070051.
9. Докукин М.Д., Савернюк Е.А., Черноморец С.С. Обвальные процессы в высокогорной зоне Кавказа в XXI веке // *Природа*. 2015. № 7 (1199). С. 52–62.

УДК 551.578.48  
DOI 10.17513/use.38227

## ОЦЕНКА ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ВСЕСЕЗОННОГО ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА «МАМИСОН»

Кондратьева Н.В., Кереева З.М.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: zknyaz-kbsy@mail.ru

**Аннотация.** Работа посвящена оценке лавинной опасности на территории расположения ВТРК «Мамисон» на основе проведенных авторами полевых исследований и анализа климатических данных ближайших метеостанций. В горах Северной Осетии имеет место широкое распространение лавинной деятельности, так как условия рельефа благоприятствуют формированию лавин: например, крутые склоны, большие превышения пригребневых частей горных хребтов, которые выступают в роли снеговосборов. На высотах 1100–1200 м, нижнем пределе лавинной активности, в периоды обильных снегопадов устойчивый снежный покров держится до 50 дней. На высотах 2500–3500 м продолжительность лавинной активности составляет 140–220 дней. Сложные условия резко расчлененного рельефа, широкое развитие значительных лавинных очагов, обилие атмосферных осадков, неустойчивый температурный режим зимнего периода в сочетании с интенсивным ветровым переносом снега в зоне выше 2000 м предопределяют исключительно интенсивную лавинную деятельность на территории ВТРК. К наиболее опасным геологическим явлениям, происходящим на рассматриваемой территории, можно отнести снежные лавины и селевые потоки. Объем лавин может достигать 1 млн м<sup>3</sup>. Такие лавины образуются на склонах, углы наклона которых варьируют от 25 до 60 градусов. Когда критическое количество снега превышает способность шероховатой поверхности удерживать его, при малейшем воздействии снег движется вниз с нарастающей скоростью, сметая всё на своем пути. Такая ситуация прослеживается в наших исследованиях. Результаты исследования показывают, что такая ситуация характерна более чем для 40% территории ВТРК «Мамисон».

**Ключевые слова:** сели, лавины, горные реки, лавинные очаги, снежный покров, осадки

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, соглашение № 23-17-20001.*

## ASSESSMENT OF AVALANCHE DANGER ON THE TERRITORY OF ALL-SEASON TOURIST AND RECREATIONAL COMPLEX “MAMISON”

Kondrateva N.V., Kerefova Z.M.

High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: zknyaz-kbsy@mail.ru

**Annotation.** The work is devoted to the assessment of avalanche danger in the territory of the Mamison VTRC based on field research conducted by the authors and analysis of climate data from nearby weather stations. Avalanche activity is widespread in the mountains of North Ossetia. For this purpose, there are relief conditions that are favorable for the formation of avalanches, for example, steep slopes, high elevations of the ridge parts of mountain ranges, which act as snow collection areas. At altitudes of 1100–1200 m – the lower limit of avalanche activity during periods of heavy snowfall – stable snow cover lasts up to 50 days. At altitudes of 2500–3500 m, the duration of avalanche activity is 140–220 days. The complex conditions of sharply dissected relief, the widespread development of significant avalanche centers, the abundance of precipitation, the unstable temperature regime of the winter period, combined with intense wind transfer of snow in the zone above 2000 m, predetermine exceptionally intense avalanche activity in the territory of the VTRC. The most dangerous geological phenomena occurring in the territory under consideration include snow avalanches and mudflows. The volume of avalanches can reach up to 1 million m<sup>3</sup>. Such avalanches are formed on slopes with inclination angles that vary from 25 to 60 degrees. When a critical amount of snow exceeds the ability of a rough surface to hold it, then with the slightest impact the snow moves downward with increasing speed, erasing everything in its path. This situation can be seen in our research. The results of the study show that this situation is typical for more than 40% of the territory of the Mamison VTRC.

**Keywords:** mudflows, avalanches, mountain rivers, avalanche centers, snow cover, precipitation

*The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, agreement No. 23-17-20001.*

Мамисонское ущелье в Северной Осетии находится на самом юге республики. Общая протяженность ущелья составляет 26 км. Площадь всесезонного туристско-рекреационного комплекса (ВТРК) «Мамисон» составляет более 7000 га, высота меняется от 1800 до 3000 м над уровнем моря. Территория является зоной повышенного риска из-за лавинно-селевых процессов.

К наиболее опасным геологическим явлениям, происходящим на рассматриваемой территории, можно отнести снежные лавины и селевые потоки. Лавины формируются на склонах с углами наклона от 25 до 60 градусов. Когда критическое количество снега превышает способность шероховатой поверхности удерживать его, при малейшем воздействии снег движется вниз с нараста-

ющей скоростью, сметая всё на своем пути. Такая ситуация прослеживается в наших исследованиях. Результаты исследования показывают, что такая ситуация характерна более чем для 40% территории ВТРК «Мамисон».

Всесезонный туристско-рекреационный комплекс «Мамисон» характеризуется среди горных регионов Большого Кавказа большим количеством осадков, как жидких, так и твердых, высокой скоростью ветра на юге и большими атмосферными амплитудами. Такое сочетание климатических условий приводит к большому скоплению снега на склонах и ледниках и дальнейшему метаморфизму, что повышает риск схода лавин на территории ВТРК. Наряду с деградацией ледников наблюдаются признаки селей, которые способствуют развитию опасных экзогенных процессов [1, 2].

Целью работы является исследование природных условий образования снежных лавин на территории ВТРК «Мамисон».

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

Лавинная обстановка на исследуемой территории практически не изучена. Только за последние годы производятся аэровизуальные наблюдения ГУ МЧС России по Северной Осетии – Алании и Северо-Осетинским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СО ЦГМС). Однако этих данных недостаточно для выведения статистических данных о сходах снежных лавин и определения их статистических показателей за последние двадцать лет на территории ВТРК «Мамисон».

С использованием архивных данных и литературных источников о снеголавинном режиме района изысканий были сделаны следующие выводы:

а) исследуемая территория причисляется к одним из наиболее лавиноопасных районов страны. Это связано с особенностями орографии района и тем, что в лавиноопасный период года, с ноября по июнь, выпадает большое количество твердых осадков;

б) распределение лавинных очагов довольно сложное и неоднородное. Оно зависит от ориентации склонов в районе, где планируется строительство ВТРК. Склоны, обращенные к северу, являются одними из самых лавиноопасных в районе строительства;

в) на всей территории исследования образовался достаточно толстый снежный покров.

К экзогенным процессам, происходящим на рассматриваемой территории, относятся сели, камнепады, оползни. Данных

о динамике их проявлений недостаточно для оценки возможных воздействий на планируемые объекты рекреации ВТРК «Мамисон». Территория ВТРК «Мамисон» относится к недостаточно изученной с точки зрения лавинной и селевой деятельности. Оценок эффективности мероприятий по защите от лавин и селей для территории изыскания не проводилось, о чем свидетельствует статья Владикавказского научного центра РАН [3].

Территория находится в Северной Осетии – Алании, в Алагирском районе, в верховьях р. Ардон, долинах р. Мамихдон, Земегондон, в высокогорном районе на отметках от 1800 до 3800 м БС. Участок пересекают горные реки Мамихдон и Земегондон, а также их притоки. Стационарные метеорологические наблюдения в разные годы выполнялись на метеостанциях «Даргавс», «Фаснал», «Цей», «Нижний Заромаг», «Мамисонский перевал», «Казбеги высокогорная», «Калак». В настоящее время действуют только метеостанции «Алагир» и «Бурон». Ближайшие высокогорные метеостанции, которые можно было использовать для характеристики метеорологического режима с учетом высотной поясности, закрыты.

*Рельеф.* В горах Северной Осетии активна лавинная деятельность. Для этого имеются условия рельефа, благоприятствующие формированию лавин, например крутые склоны, большие превышения пригребневых частей горных хребтов, которые выступают в роли снегосборов.

Основными рельефообразующими хребтами являются Главный Кавказский хребет, Скалистый и Боковой. В отличие от остальной части республики, территория Мамисонского ВТРК вытянута с северо-запада на юго-восток. Поэтому благоприятные условия для лавинной активности распространяются по долине гораздо дальше на север, чем в других бассейнах (рис. 1 и 2).

*Климат.* Климат в горах Северной Осетии в холодный период года способствует долговременной жизни снежного покрова. Однако из-за более восточного расположения республики и менее благоприятного распределения влагонасыщенных воздушных масс ее территория характеризуется малым количеством зимних осадков. В результате совместного действия вышеупомянутых топографических и климатических условий лавинная активность на территории республики имеет ряд особенностей.



*Рис. 1. Вид на верховья р. Халаца, правого притока р. Земегондон, и лавиноопасные склоны*



*Рис. 2. Лавинорезы на склоне левого борта р. Мамихдон*

Толщина снежного покрова зависит прежде всего от ориентации склона по отношению к влагонесущим воздушным массам, а также наличия на склоне аккумулятивного рельефа и солнечной радиации на склоне. Зимой, когда снегопады обычно обильные, южные склоны горных районов республики большую часть холодного времени года остаются бесснежными, в то время как на открытых северных склонах снежный

покров не превышает 50 см, а в складках рельефа может достигать до нескольких метров. Перенос снега выдуванием особенно ярко выражен на больших высотах, а метели наиболее часты и интенсивны в феврале и начале марта и оказывают существенное влияние на процессы лавинообразования в горных районах Северной Осетии [5].

Снежный покров оказывает существенное влияние на формирование климата. Под

его воздействием развивается и формируется ряд взаимосвязанных процессов. При покрытии территории снегом в зимний период создаются особые условия обмена между поверхностью и атмосферой, которые оказывают существенное влияние на верхний слой почвы. Низкая теплопроводность снега способствует сохранению тепла, накопленного в почве к осени, и предохраняет ее от промерзания. Неустойчивый снежный покров наблюдается в предгорных районах. Доля зим без устойчивого снежного покрова колеблется в пределах 43–60%. Высота снежного покрова определяется не только высотой местности и количеством осадков, но и в значительной степени расположением точки измерения по отношению к рельефу.

Устойчивый снежный покров образуется в среднем в середине или конце декабря, когда верхний слой почвы промерзает. А полностью сходит в период с 28 февраля по 10 мая, когда среднесуточная температура воздуха переходит через + 5 °С. Среднее количество дней со снежным покровом в районе метеостанции «Нар», наиболее близкой к месту изыскания, составляет 100 дней.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Изрезанный и сложный рельеф определяет разнообразие распределения снежного покрова на исследуемой территории.

Первый снег в интервале высот 2–2,5 км выпадает в среднем в октябре. Но выпавший снег быстро тает, а постоянный снежный покров устанавливается в первой-второй

декаде ноября. На высотах 2,5–3,6 км снег появляется в среднем в сентябре, а устанавливается в середине октября. Разница во времени между появлением и установлением устойчивого снежного покрова уменьшается с высотой.

Сроки появления и формирования устойчивого снежного покрова существенно различаются по годам. На метеорологической станции «Мамисонский перевал» на высоте 2854 м, выбранной в качестве опорной, устойчивый снежный покров образуется в среднем 16 октября, а самый ранний – 17 сентября (табл. 1). На высоте 3653 м (МС «Казбеги», в/г) средняя дата образования устойчивого снежного покрова – 12 октября, самая ранняя – 27 августа.

В табл. 2 представлены максимальные декадные высоты снежного покрова (см) различной обеспеченности по метеостанции «Мамисонский перевал» за период с 1936 по 1990 г.

*Растительность.* Лесная растительность на крутых горных склонах, являющаяся естественным препятствием для обрушения лавин, на территории ВТРК «Мамисон» встречается на небольших участках горных склонов. Здесь ярко выражена одна из важнейших закономерностей горных районов – высотная зональность ландшафтов. На высотах 1800–3800 м формируются высокогорные ландшафты. Преобладают нивально-гляциальные и горно-луговые ландшафты. Здесь на небольшой территории наблюдаются почти все высотные зоны Большого Кавказа: горно-лесная, горно-луговая и нивально-гляциальная.

Таблица 1

Дата начала и дата выпадения снега

Станция	Средн. число дней со снежн. покровом	Дата начала снежного покрова			Дата формирования			Дата разрушения			Дата схода снежного покрова		
		Ср.	Ран.	Позд.	Ср.	Ран.	Позд.	Ср.	Ран.	Позд.	Ср.	Ран.	Позд.
Мамисонский перевал	248	23.09	27.08	3.11	16.10	17.09	13.11	7.06	26.04	8.07	18.06	22.05	24.07

Таблица 2

Максимальная декадная высота снежного покрова (см) различной обеспеченности по метеостанции «Мамисонский перевал»

Метеостанция	Обеспеченность декадных высот (%)									
	95	90	75	50	25	10	5	2	1	
Мамисонский перевал	31	32	38	45	60	85	130	180	192	

В долинах р. Земегондон, Козидон и Ха-лаца до высоты 2300 м растут сосновые леса (высота деревьев до 25 м). На многих участках эти леса неоднократно уничтожались лавинами, о чем свидетельствуют молодые сосны разного возраста. Участки, куда часто падают снежные лавины, вместо сосновых лесов заняты березовым криволе-сьем или луговыми полянами.

Частично склоны заняты хвойными и лиственными деревьями, а также криво-лесем из березы, в котором развит густой кустарниковый подлесок из разнотравья. Среди криволеся, на лавинных участках, пятнами встречаются высокотравные луго-вые кланы. Выше лесов, на высоте 2600–2800 м, распространены заросли кустар-ников, чередующиеся с субальпийскими лугами. Здесь широко распространен мож-жевелник. Склоны, поросшие можжевел-ником и высокотравьем, благоприятствуют формированию лавин.

Таким образом, растительность отража-ет физико-географические условия района, в том числе высоту снежного покрова, спо-собствует или препятствует формированию лавин, а также является индикатором ла-винной деятельности.

Сложные условия резко расчлененного рельефа, широкое развитие значительных лавинных очагов, обилие атмосферных осадков, неустойчивый температурный ре-жим зимнего периода в сочетании с интен-сивным ветровым переносом снега в зоне выше 2000 м предопределяют исключи-тельно интенсивную лавинную деятель-ность на территории ВТРК.

### Заключение

Горные районы Республики Северная Осетия – Алания являются лавиноопасны-ми. На высоте 1100–1200 м, в нижних райо-нах, где вероятность схода лавин в снежные зимы выше, устойчивый снежный покров держится до 50 дней. На высотах 2500–3500 м продолжительность сезона схода ла-вин составляет 140–220 дней.

В горных районах наибольшую опас-ность представляют лавины и оползни. Объем лавин может достигать 1 млн м<sup>3</sup>. Лавины сходят на склонах с углом наклона от 25 до 60 градусов. Когда критический объем снега превышает возможности ше-роховатой поверхности, снег с огромной скоростью сходит вниз, сметая всё на своем пути. Как показывают наши исследования, такая ситуация характерна более чем для 40% территории ВТРК «Мамисон».

### Список литературы

1. Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Федченко Л.М., Уз-денова А.Б. Методика фонового прогноза лавинной опасно-сти для территории горных районов Республики Ингуше-тия и Чеченской Республики // ГеоРиск. 2021. Т. 15, № 3. С. 50–63. DOI: 10.25296/1997-8669-2021-15-3-50-63.
2. Петрова Е.Г. Лавины как фактор аварийных ситуаций в техносфере // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2022. Т. 4, № 3. С. 255–266. DOI: 10.34753/HS.2022.4.3.255.
3. Олейников А.Д., Володичева Н.А. Зимы лавинного максимума на Большом Кавказе за период инструменталь-ных наблюдений (1968–2016 гг.) // Лед и снег. 2020. Т. 60, № 4. С. 521–532. DOI: 10.31857/S2076673420040057.
4. Кадастр лавин СССР. Л.: Гидрометеиздат. Т. 8. 1984, 1986, 1989.
5. Куксова Н.Е., Торопов П.А., Олейников А.Д. Мете-орологические условия экстремального лавинообразования в горах Кавказа по данным наблюдений и реанализов // Лед и снег. 2021. Т. 61, № 3. С. 377–390.

УДК 911.9  
DOI 10.17513/use.38228

## ПЕШЕХОДНО-ПРОМЕНАДНЫЙ КАРКАС КАК ЭЛЕМЕНТ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ МАЛЫХ ГОРОДОВ И ПОСЕЛЕНИЙ

Коньшев Е.В., Турханова С.Ю.

*ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,  
Пермь, e-mail: konj@bk.ru*

**Аннотация.** Актуальность исследования обусловлена возрастанием значения туризма и рекреации в функциональной структуре малых городов и поселений России. Направляя значительные усилия на продвижение туристско-рекреационного потенциала, создание коллективных средств размещения и разработку туристских маршрутов, туристские администрации не уделяют должного внимания формированию комфортной городской среды, важным элементом которой является пешеходно-променадный каркас. Цель исследования – изучение предпосылок развития пешеходно-променадного каркаса большого центра в поселке городского типа и разработка рекомендаций по благоустройству городской среды на примере поселка Яйва Пермского края. Исследование проводилось с применением методологических подходов, обоснованных С.А. Меркушевым. Территорией исследования выбран пос. Яйва, который, обладая высоким туристско-рекреационным потенциалом, испытывает значительные сложности в его реализации. В ходе исследования были выделены границы большого центра поселка, определены существующие площадные и линейные элементы каркаса, дана характеристика туристско-рекреационного потенциала объектов, выявлены проблемы архитектурного облика. Подробно дается характеристика объектов существующей туристско-рекреационной инфраструктуры, опыт применения механизмов развития пешеходных пространств, в том числе путем реализации местных инициатив. Выделяются проблемные зоны, которые снижают туристско-рекреационную привлекательность населенного пункта. Разработаны рекомендации по развитию пешеходно-променадного каркаса пос. Яйва. Предлагается создание новых площадных элементов каркаса, которые будут соединяться проектируемой небольшой аллеей. Инструментами для финансирования проектов по созданию линейных и площадных элементов пешеходно-променадного каркаса могут стать федеральные и региональные программы. Результаты исследования могут найти применение в практике городского планирования и развития, а реализация предлагаемого проекта станет стимулом для дальнейшего развития населенного пункта, сделает его более привлекательным для жителей и туристов.

**Ключевые слова:** Пермский край, туризм, рекреация, пешеходные пространства, населенные пункты, малые города, поселок Яйва, городская среда

## PEDESTRIAN AND PROMENADE FRAMEWORK AS AN ELEMENT OF THE TOURIST AND RECREATIONAL INFRASTRUCTURE OF SMALL TOWNS AND SETTLEMENTS

Konyshev E.V., Turkhanova S.Yu.

*Perm State National Research University, Perm, e-mail: konj@bk.ru*

**Annotation.** The relevance of the study is due to the increasing importance of tourism and recreation in the functional structure of small towns and settlements in Russia. Directing significant efforts at promoting tourist and recreational potential, creating collective accommodation facilities and developing tourist routes, tourist administrations do not pay due attention to the formation of a comfortable urban environment, an important element of which is pedestrian infrastructure. The purpose of the study is to study the prerequisites for the development of the pedestrian promenade frame of a large center in an urban village, and to develop recommendations for the improvement of the urban environment using the example of the village of Yayva, Perm Territory. The study was conducted using methodological approaches justified by S.A. Merkushev. The research area is the village of Yayva, which, having a high tourist and recreational potential, is experiencing significant difficulties in its implementation. During the study, the boundaries of a large settlement were identified, the existing areal and linear elements of the frame were identified, characteristics of the tourist and recreational potential of the objects were given, problems of architectural appearance were identified. The description of the objects of the existing tourist and recreational infrastructure, the experience of using mechanisms for the development of pedestrian spaces, including through the implementation of local initiatives, is given in detail. There are problem areas that reduce the tourist and recreational attractiveness of the settlement. Recommendations have been developed for the development of the pedestrian and walking frame of the village of Yayva. It is proposed to create new areal elements of the frame, which will be connected by a projected small alley. Federal and regional programs can become instruments for financing projects to create linear and area elements of pedestrian and walking infrastructure. The results of the study can be applied in the practice of urban planning and development, and the implementation of the proposed project will become an incentive for the further development of the settlement, making it more attractive to residents and tourists.

**Keywords:** Perm Region, tourism, recreation, pedestrian spaces, settlements, small towns, Yayva settlement, urban environment

Социально-экономическая география на сегодняшний день наиболее ориентирована на изучение социальных аспектов жизнедеятельности человека. В советское время она была направлена на разработку энерго-производственных циклов, проектирование территориально-промышленных комплексов, исследование межотраслевых комплексов, то есть была более экономической. В начале XXI в. социально-экономическая география приобрела новое амплу – поведенческое направление. Она стала подробнее изучать жизнь человека не с точки зрения ее организации (хотя это, безусловно, тоже осталось), а с точки зрения качества. Одной из задач современной социально-экономической географии является повышение качества жизни населения. В то же время это входит в интересы градостроителей, архитекторов, социологов; по сути, данный вопрос следует считать междисциплинарным. Городская среда, являясь частью понятия «качество жизни населения», играет важную роль для каждого жителя урбанизированных систем разного уровня. Общественная география изучает все стороны урбанизации, в том числе формируя собственный понятийный аппарат. Так, вводится понятие пешеходно-променадного каркаса большого центра. Его суть заключается в том, что в городском центре существующие площадные (парки, скверы, сады) и линейные (набережные, пешеходные улицы, бульвары) объекты должны быть связаны между собой. Автор проводит исследование для городов-миллионеров России, за исключением Москвы и Санкт-Петербурга [1].

Исследования, направленные на оценку и проектирование пешеходно-променадного каркаса, приобретают большую актуальность в свете задач по развитию туризма и рекреации, в том числе в малых городах и поселениях [2]. Обладая значительным историко-культурным, природным потенциалом, чаще всего небольшие населенные пункты не в силах его реализовать. В свою очередь, это может зависеть от недостатка финансирования, от отсутствия желания жителей и органов власти что-либо менять в привычном жизненном укладе. Однако, на наш взгляд, повлиять на изменение сложившейся ситуации могут реальные проекты по благоустройству городской среды.

Цель исследования – изучение предпосылок развития пешеходно-променадного каркаса большого центра в поселке городского типа и разработка рекоменда-

ций по благоустройству городской среды на примере пос. Яйва Пермского края.

### Материалы и методы исследования

Формализованная оценка пешеходных пространств является новым и уникальным направлением для исследования городской среды. Она необходима для изучения территориальных различий и опыта поселений в решении градостроительных задач. Методологическую основу исследования составляют работы Е.Н. Перцика [3], в которых автор подробно описывает пространственную структуру городов и ее функциональные зоны, выделяя историческое ядро, большой центр и внешнюю зону. При определении элементов пешеходно-променадного каркаса будем руководствоваться методикой С.А. Меркушева [4], адаптировав ее для поселков городского типа.

### Результаты исследования и их обсуждение

Характеризуя территорию исследования, следует отметить, что на сегодняшний день поселок городского типа Яйва Пермского края представляет собой важный транспортно-географический центр на автомобильной и железной дорогах регионального значения. Через железнодорожную станцию Яйва проходят пассажирские поезда пригородного и дальнего сообщения (одна пара три раза в неделю), грузовые поезда. Через периферийную часть поселка проходит трасса регионального значения Кунгур – Соликамск, по которой ежедневно проходят тысячи транспортных единиц.

Экономика пос. Яйва сегодня представлена электроэнергетикой (Яйвинская ГРЭС-16), деревообработкой (ООО «Лесотранспортная компания», ООО «Грин Вуд», ООО «Ураллес», ООО «Урал-Трейд» и др.), предприятиями торговли и жилищно-коммунального хозяйства. Бюджетные учреждения включают в себя школу (2 корпуса), школу-интернат, два детских сада (5 корпусов), Дворец культуры «Энергетик», спорткомплекс «Зевс» (бассейн, тренажерный зал, стадион), библиотечно-музейный центр.

Численность населения на 2021 г. составляет 8269 чел. Тенденции демографической ситуации в пос. Яйва не особо отличаются от общероссийских. Она характеризуется естественной убылью населения, отрицательным сальдо миграций.

Несмотря на проблемы, на наш взгляд, у поселка есть перспективы. Они заключаются в модернизации производственных

мощностей действующих предприятий и создании новых площадок для развития. На основе опыта других городов Пермского края возможно создание тепличного комплекса на базе Яйвинской ГРЭС. Необходимо уделить внимание переходу к более сложным стадиям переработки древесины, развитию лесохимии. Обладая особым туристическим потенциалом, Яйва должна являться точкой в маршруте к Александровским (Голубым) озерам. Точкой притяжения для туристов является МКУ «Яйвинский краеведческий музей», в котором создано четыре зала: зал истории, зал быта, зал природы, зал истории Яйвинской ГРЭС. За пределами большого центра единственной достопримечательностью является железнодорожный вокзал станции Яйва, на территории которого находится водонапорная башня, построенная в 1879 г. Летом большое количество туристов сплавляется по р. Яйва и после окончания маршрута посещает достопримечательности поселка.

Для формирования пешеходно-променадного каркаса пос. Яйва сначала нужно определить границы его большого центра. Несмотря на то, что поселок является урбанизированной системой наименьшего размера, выделение в нем городского центра необходимо для исследования (рис. 1).

Южная граница большого центра населенного пункта проходит по ул. Энергетиков. Западная граница представлена Заводской улицей. Северная граница частично совпадает с ул. Галкинской (автомобильная трасса регионального значения Кунгур – Соликамск), ул. 6-й Пятилетки и окраиной образовательного учреждения. Восточная граница проходит по ул. Железнодорожной и ул. Лермонтова. В результате площадь большого центра поселка равна 0,9 км<sup>2</sup>.

На территории населенного пункта расположен один площадной элемент пешеходно-променадного каркаса, площадь которого составляет примерно 40 га. Линейные элементы отсутствуют. В связи этим посмотрим на поселок с точки зрения создания дополнительных пешеходных пространств.

Перед формированием элементов каркаса необходимо обратить внимание на архитектурную составляющую поселка. В связи с тем, что история Яйвы начинается с 1930-х гг., то строительство жилых домов и кварталов происходило с этого времени. Вблизи железнодорожного вокзала, по ул. Энергетиков построены дома сталинского времени. К сожалению, на сегодняшний день их состояние оставляет желать лучшего, необходимы облицовочные работы, а также благоустройство придомовой территории.

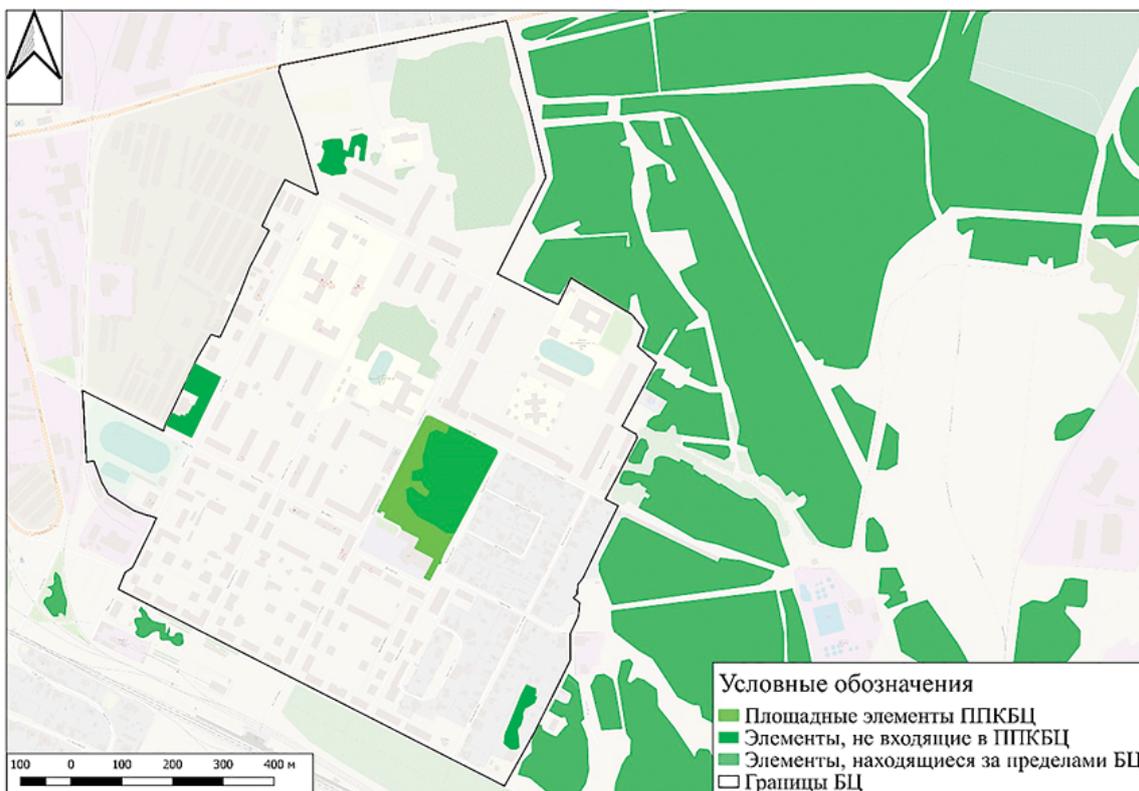


Рис. 1. Пешеходно-променадный каркас Яйвы в 2023 г. (выполнено автором)

Аналогичная ситуация характерна для остальной части большого центра поселка, но там представлены дома хрущевской застройки.

С 2010-х гг. поселок участвует в муниципальной программе «Ликвидация ветхого и аварийного жилого фонда в Александровском муниципальном округе». Благодаря этому построен новый дом на ул. Юбилейной в 2012 г. и продолжается строительство дома по соседству.

За пределами большого центра Яйвы расположены микрорайоны «За линия» и «Завод». Название первого связано с тем, что он расположен за Луньевской железнодорожной веткой и характеризуется частной застройкой. Микрорайон «Завод» так именуют жители, потому что на этой территории ранее существовал домостроительный комбинат.

Что касается достопримечательностей пос. Яйва Пермского края, то их относительно немного, особенно в пределах большого центра. Объектом притяжения туристов является парк «Березовая роща», в котором созданы исторические скульптуры, связанные с легендой о названии поселка – красавица-река Яйва, добрый молодец Тулум и рыба-таймень, а также арт-объект «Яйва». В городском центре находится МКУ «Яйвинский краеведческий музей», на территории которого построен обелиск памяти воинам Великой Отечественной войны. В музее создано четыре зала: зал истории, зал быта, зал природы, зал истории Яйвинской ГРЭС [5].

За пределами большого центра единственной достопримечательностью является железнодорожный вокзал станции Яйва, на территории которого находится водонапорная башня, построенная в 1879 г. Главное место притяжения туристов и любимое место жителей – река, однако оборудованный пляж в пределах внешней зоны отсутствует.

На сегодняшний день из элементов пешеходно-променадного каркаса большого центра представлен только парк «Березовая роща», окончательно достроенный в 2021 г. Мотивацией для создания парка стала возникшая экологическая проблема местного масштаба. Весной 2019 г. снежный покров, находящийся на территории, растаял, но не впитался в почву. По этой причине начались первые стадии процесса сукцессии, который необходимо было предотвратить, чтобы не потерять лесной массив в центре поселка.

В результате этого в 2020 г. начался процесс благоустройства территории: создана система водоотведения, построен забор во-

круг парка, заасфальтирована его окружность и проведено освещение. К осени 2021 г. по «народным тропам» сделаны дорожки, выложенные плиткой, поставлены лавочки, добавлены декоративные фонари, установлены скульптуры (описаны ранее) и система видеонаблюдения, построена детская площадка. Летом 2023 г. началось строительство нескольких спортивных площадок. Необходимо отметить, что инициативными жителями поселка каждой весной проводятся субботники, создаются клумбы, высаживаются цветы и деревья. Парк является местом проведения спортивных соревнований («Лыжня России»), встреч и прогулок жителей.

Соединив парк и главную площадь поселка, получили целое общественное пространство с детскими площадками, лавочками и достопримечательностями, которые отражают историю территории. Огражденный забором парк совместно с рекреационной выполняет транзитную функцию для жителей поселка, так как находится в центральной его части. На сегодняшний день территория постепенно благоустраивается благодаря инициативным жителям поселка, этим летом началось строительство малых архитектурных форм, представленных спортивными площадками.

Для формирования пешеходно-променадного каркаса в Яйве необходимо обратить внимание на перспективные площадные элементы (рис. 2).

Первый из них расположен между корпусом школы и жилым кварталом, а второй – между трассой регионального значения и новыми жилыми кварталами. Особенность этих территорий заключается в заболоченности и соответствующей растительности (кустарники), однако, изучив опыт решения подобных задач, можно решить эту проблему. Площадь данных территорий небольшая, поэтому более целесообразно там разбить небольшие придомовые скверы.

Для соединения проектируемых элементов с существующим парком «Березовая роща» необходимо линейное пешеходное пространство. Обратим внимание на правую сторону ул. 6-й Пятилетки до перекрестка с ул. Юбилейной. Относительно поселка автомобильное движение по этому участку улицы стоит считать интенсивным, но его ширина позволяет создать там небольшую аллею. Изначально там планировали строить жилой дом, но строительство закончилось на этапе установки свай, поэтому пространства достаточно.

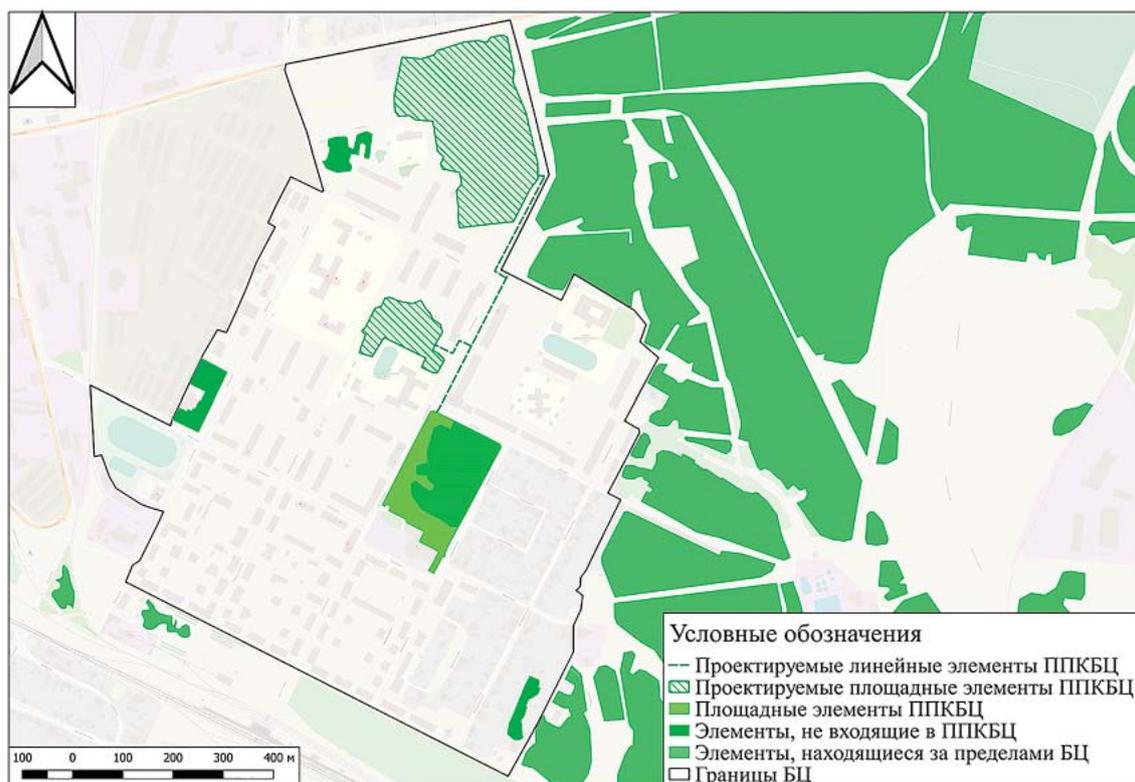


Рис. 2. Проектируемый пешеходно-променадный каркас Яйвы (выполнено автором)

От аллеи планируются выходы к скверам, а также возможен выход во внешнюю зону. Препятствием к соединению парка и аллеи является инженерное сооружение – теплотрасса. Большая часть ее лежит не под землей, как во многих городах, а над ней. Однако, изучив опыт территорий, которые сталкивались с подобной проблемой, ее определенно можно решить.

Пример строительства аллеи в поселке уже существует. Это выход во внешнюю зону в рамках продолжения ул. Парковой. Аллея построена как пешеходный объект, соединяющий центр поселка с предприятием Яйвинская ГРЭС. Однако по критериям пешеходным пространством она не является, так как находится между автомобильной трассой с интенсивным движением и промышленным объектом – пилорамой.

Восточная часть внешней зоны, расположенная за пределами выделенного большого центра, представляет собой лесной массив. Для жителей любого городского населенного пункта полезны прогулки не только в городской черте, но и за ее пределами. В связи с этим возможно создание экологических троп разной протяженности для прогулки.

Инструментами для финансирования проектов по созданию линейных и площадных элементов пешеходно-променадного каркаса могут стать федеральные и региональные программы. На наш взгляд, особенно актуален для пос. Яйва национальный проект «Жилье и городская среда», региональный проект «Управляем вместе». В случае проявления активности местным населением возможно участие в проекте поддержки местных инициатив, которые предусматривает софинансирование со стороны общественности и государства. Уже проверенным инструментом для поселка является инициативное бюджетирование, которое подразумевает сбор средств с населения в размере 10% от расходов, понесенных муниципалитетом. Благодаря ему были установлены скульптуры в парке «Березовая роща», а сейчас началась установка спортивных площадок. Этот инструмент планируют продолжать использовать при благоустройстве главной площади поселка перед ДК «Энергетик».

#### Заключение

Современные урбанизированные системы России состоят из населенных пун-

ктового разного типа и людности. Географы уделяют особое внимание подходам к их классификации и типологии по численности населения, по функциям, по экономико-географическому положению городов и поселков городского типа. На сегодняшний день общественная география более направлена на деятельность человека, поэтому вопросы изучения становятся шире и интереснее. Одним из вопросов является организация комфортной городской среды и ее составляющих, среди которых представлены пешеходные пространства. Они являются неотъемлемой частью городской среды высокого качества, так как выполняют транзитную, оздоровительную и рекреационную функции. Важное дополнение состоит в том, что пешеходные пространства присутствуют в городских населенных пунктах разного размера, а это подчеркивает общность подходов, с помощью которых их можно изучать.

Изучив общую характеристику пос. Яйва Пермского края и территорию его большого центра, важно отметить, что перспективы к созданию пешеходно-променадного каркаса у поселка городского типа есть. Более того, организация пешеходных пространств

станет стимулом для дальнейшего развития населенного пункта, сделает его более привлекательным для жителей и туристов. Это подчеркивает то, что возможность создания городской среды высокого качества не зависит от численности населения урбанизированных систем. Современная наука позволяет использовать различные методы и решать возникающие проблемы, а государство предлагает полезные инструменты и помогает в реализации проектов. Остается только начать действовать.

#### Список литературы

1. Лучников А.С., Меркушев С.А. Трансформация городского расселения и урбанизация Пермского края в XX–XXI вв. // ДЕМИС. Демографические исследования. 2022. Т. 2, № 4. С. 123–143. DOI: 10.19181/demis.2022.2.4.9.
2. Никольская Е.Ю., Семенова Л.В., Шабалина Н.В., Коньшев Е.В., Алексушин Г.В., Гадимова Ф.К. Актуальные проблемы и стратегии развития туристских территорий малых городов и поселений России. М.: КНОРУС, 2021. 232 с.
3. Перчик Е.Н. Проблемы развития городских агломераций // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 2. С. 63–69.
4. Меркушев С.А. Пешеходно-променадные каркасы больших центров городов-миллионеров России: монография. Пермь, 2023. 137 с.
5. Яйвинский краеведческий музей. Главная. [Электронный ресурс]. URL: <https://muzei-yaiva.perm.muzkult.ru/> (дата обращения: 15.02.2024).

УДК 911.9:504:581.6  
DOI 10.17513/use.38229

## ОЦЕНКА СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЛИСТОВОГО ОПАДА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА ГОРОДА УФА)

Насырова Э.С., Кальсин Н.А., Кострюкова Н.В., Султанова Д.С.

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Уфа, e-mail: kalsin.nikita@bk.ru

**Аннотация.** В настоящее время проблема утилизации опавших листьев в пределах урбанизированных территорий городов приобретает особую актуальность, так как они становятся растительными отходами, которые приравниваются к твердым коммунальным отходам и нуждаются в вывозе на полигоны. Однако при переходе мирового сообщества на экономику замкнутого цикла опавшие листья следует рассматривать как ценный материал. В настоящее время существуют методы использования (переработки) опавших листьев с извлечением их полезных свойств. К основным способам переработки опавшей листвы относят: создание компоста; экстракцию полезных соединений; производство биотоплива в форме пеллет, а также получение биогаза; сорбцию различных загрязняющих веществ из водной среды; производство пластмасс и бумажных изделий. Эти способы рассматриваются как отечественными, так и зарубежными исследователями. В данной работе рассмотрен способ использования опавших листьев урбанизированной территории в качестве нефтесорбента для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Объект исследования – опавшие листья *Quercus robur*, собранные осенью 2022 г. в парковой зоне г. Уфа (Россия). По методике ГОСТ 33627-2015 исследованы сорбционные свойства опавших листьев *Quercus robur* как адсорбента II типа. Анализ плавучести показал высокую плавучесть образцов – более 72 ч. Нефтеемкость листьев *Quercus robur* составила 4,67–5,91 г/г, что сопоставимо с нефтеемкостью сорбентов, присутствующих на рынке.

**Ключевые слова:** экономика замкнутого цикла, урбанизированная территория, опавшая листва, растительные отходы, *Quercus robur*, нефтеемкость

## ASSESSMENT OF URBANIZED AREA LEAF LITTER SORPTION PROPERTIES (ON THE EXAMPLE OF THE UFA CITY CENTRAL DISTRICT)

Nasyrova E.S., Kalsin N.A., Kostryukova N.V., Sultanova D.S.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, e-mail: kalsin.nikita@bk.ru

**Annotation.** Currently, the problem of fallen leaves recycling within urban areas of cities is becoming particularly relevant, as they become plant waste, which is equated to solid municipal waste and needs to be exported to landfills. However, as the global community transitions to a circular economy, fallen leaves should be considered as a valuable material. Currently, there are methods of utilizing (recycling) fallen leaves with the extraction of their beneficial properties. The main methods of processing fallen leaves include composting; useful compounds extraction; production of biofuel in the form of pellets, as well as biogas production; sorption of various pollutants from the aquatic environment; plastics and paper products production. These methods are considered by both domestic and foreign researchers. This paper considers the method of using fallen leaves from an urbanized territory as an oil sorbent to eliminate emergency oil and petroleum products spills. The object of the study is the fallen leaves of *Quercus robur*, collected in the autumn of 2022 in the park area of Ufa (Russia). The sorption properties fallen leaves of *Quercus robur* as a type II adsorbent were studied according to the GOST 33627-2015 method. The buoyancy analyzes showed high buoyancy of the samples, more than 72 hours. The *Quercus robur* leaves oil capacity was 4.67-5.91 g/g, which is comparable to the oil capacity of sorbents present on the market.

**Keywords:** circular economy, urbanized territory, fallen leaves, plant waste, *Quercus robur*, oil capacity

Биологический процесс роста деревьев сопровождается периодическим сбрасыванием листьев. Например, в умеренном климатическом поясе это происходит осенью. В связи с этим на урбанизированной территории опавшие листья становятся растительными отходами. Они приравниваются к твердым коммунальным отходам и вывозятся на полигоны. Однако в настоящее время существуют методы использования (переработки) опавших листьев с извлечением их полезных свойств. К основным способам переработки опавшей листвы относят: создание компоста; экстракцию полезных соединений; производство биотоплива в форме

пеллет, а также получение биогаза; сорбцию загрязняющих веществ; производство пластмасс и бумажных изделий. Эти способы рассматриваются как отечественными, так и зарубежными исследователями. Например, А.Д. Губанов и др. в своей работе [1] предлагают использовать листья в качестве гранулированного органоминерального удобрения путем добавления препаратов, способствующих быстрому разложению и насыщению почвы. Другие исследователи [2] получили биоуголь из опавших листьев *Jatropha curcas* L. Многие исследователи предлагают перерабатывать опавшие листья по технологии компостирования путем

равномерного перемешивания биомассы с различными веществами: минералосодержащими фильтрационными осадками сахарных заводов [3], пищевыми отходами [4] или свиным навозом [5].

Опавшая листва обладает хорошей теплопроводной способностью и может быть переработана в биотопливо второго поколения путем преобразования в топливные гранулы, брикеты, пеллеты [6, 7] или получения биогаза [8].

В последние годы для удаления примесей, содержащихся в воде, успешно применяются сорбционные материалы на основе растительных отходов. Например, в работе [9] рассмотрена сорбционная очистка модельных растворов от ионов железа путем применения опилок и опавшей листвы *Quercus robur*. Другие исследователи получили железодобавленный биоуголь для сорбции анионов [10]. Obaida Alhajali и др. [11] изучали возможность удаления нитратов и фосфатов из водной среды при помощи порошка из листьев *Pistacia lentiscus*, а Ali Q. Alorabi и др. [12] оценивали сорбционные способности *Lavandula pubescens* при удалении ионов свинца из сточных вод.

В рамках постепенного перехода мирового сообщества к экономике замкнутого цикла растет производство биопластика, включающего биоосновные полимеры (bio-based plastic) и биоразлагаемые (biodegradable plastic). Содержащийся в опавших листьях лигнин может использоваться как добавка к наполнителю для производства пластмасс. Например, в работе [13] методом математического планирования изучается возможность получения пластика на основе листьев финиковой пальмы. В работе А.С. Ершова [14] описываются исследования по применению отходов лесной растительности, а именно древесной растительности и опавшей листвы из участков лесопарковых зон для получения пластика методом горячего прессования.

Ежегодно вырубается более 100 млн деревьев для производства бумаги с связи с увеличением потребления бумажной про-

дукции с 92 до 208 млн т в год. Многие исследователи считают, что промышленное производство бумаги из опавшей листвы может существенно сократить вырубку лесов. Например, в работе [15] представлен метод получения целлюлозных волокон из опавших листьев с помощью химико-термической обработки.

Еще одним способом использования растительных отходов, таких как опавшая листва, отходы переработки трав, лузга подсолнечника, кукурузные початки, является получение нефтесорбента для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Целью данной работы является оценка сорбционных свойств листового опада урбанизированной территории. Для достижения поставленной цели необходимо проанализировать основные свойства нефтесорбентов и методы определения этих свойств; изучить видовой состав лесных насаждений Уфы и выбрать объект исследования; в соответствии с выбранными методами изучить свойства объекта исследования как нефтесорбента.

Универсальный нефтесорбент должен обладать следующими свойствами и качествами: высокой сорбционной способностью к нефти и нефтепродуктам; обладать минимальным временем поглощения разлива; иметь возможность к регенерации; быть экологичным; обладать низкой способностью к водопоглощению; содержать высокопористую поверхность; а также легкость в технологическом изготовлении и утилизации. Классификация сорбентов приведена в табл. 1–3.

Свежие листья по своей природе очень скоропортящиеся. Для сохранения листьев на более длительный срок необходим соответствующий метод сушки для удаления влаги до безопасного уровня активности. Низкое содержание влаги в продуктах, приготовленных из высушенных листьев, помогает увеличить срок их хранения.

Для удаления необходимого количества воды из листьев используется контролируемый процесс термической обработки.

Таблица 1

Классификация нефтяных сорбентов по исходному сырью

Органические сорбенты				Неорганические сорбенты	
Органо-минеральные	Синтетические	Природного происхождения	Каустобиолиты	Искусственные минералы	Естественные минералы
Нефтешламы Сланцы	Полиуретан Тефлон	Опилки Листва	Торф Уголь	Перлит Силикагель	Силикаты Цеолиты

Таблица 2

## Классификация сорбентов по дисперсности

Дисперсные		Формованные		
Крупнодисперсные	Мелкодисперсные	Прессованные	Волокнистые	Комбинированные
Хлопья Крошка Гранулы	Порошки	Плиты	Тканые материалы	Подушки Сорбирующие боны

Таблица 3

## Классификация сорбентов по плавучести

Неплавучие	Ограниченной плавучести	Высокой плавучести
До 3 ч	2–72 ч	Более 72 ч

Оптимизированный процесс сушки необходим не только для сохранения листьев и получения концентрированных питательных веществ, но и для минимизации энергопотребления, чтобы сделать его экологически чистым. Для обезвоживания различных листьев применяются многочисленные методы: воздушная сушка, сушка на солнце, сушка в прессе, сушка в печи горячим воз-

духом, сушка в микроволновой печи, сублимационная сушка, сушка силикагелем, сушка глицерином и конвективная сушка. Определение сорбционных характеристик проводится в соответствии с ГОСТ 33627-2015.

## Материалы и методы исследования

Город Уфа является одним из зеленых городов России (рис. 1).

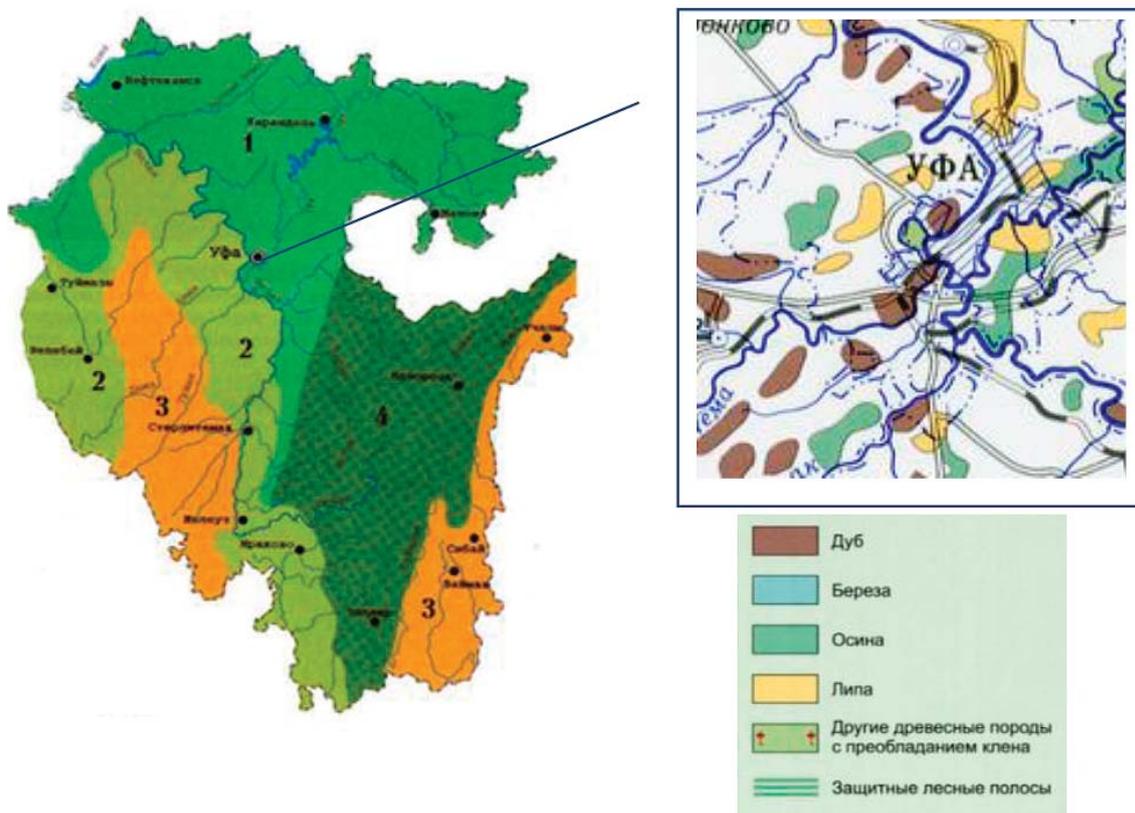


Рис. 1. Видовой состав лесных насаждений Уфы: 1 – хвойно-широколиственные леса; 2 – зона лесостепи; 3 – степная зона; 4 – горно-лесная зона

Естественные леса города – типичные широколиственные, представленные такими видами, как *Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Populus tremula* и *Acer platanoides*.

Для исследования основных сорбционных характеристик опавшей листвы осенью 2022 г. собран лиственный опад *Quercus robur* в центральном районе Уфы на территории сквера 50-летия Победы (в средней части сквера). Листья собирались вручную в пластиковые мешки объемом 30 л без утрамбовывания, свободно. Сушка листьев проводилась естественным путем (воздушная сушка) в лаборатории кафедры безопасности производства и промышленной экологии Уфимского университета науки и технологий при температуре 22–23 °С, влажности 20–22 % на бумажной подстилке в течение месяца с периодическим перемешиванием. Воздушная сушка является наиболее традиционным методом сушки, занимает от двух до четырех недель, потому что для полного высыхания требуется больше времени по сравнению с другими методами.

Для получения фракционного состава использовался электрический измельчитель, лабораторные сита с размером ячеек от 0,1 до 10,0 мм и аналитические весы. Исследуемая масса листового опада *Quercus robur* взвешивалась по 50 г и измельчалась до однородной консистенции в течение 18 с.

Для определения плавучести навеска измельченного листового опада массой 1 г насыпалась в емкость, заполненную водой объемом 250 мл на 5 мин. После отстаивания опыт повторялся с перемешиванием и аналогичным отстаиванием.

Для определения водопоглощения навеска измельченного листового опада массой

1±0,0090 г помещалась в закрывающееся сито и погружалась в емкость с водой объемом 300 мл на 15 мин.

Для определения адсорбируемости воды по ГОСТ 33627-2015 навеска измельченного листового опада массой 1±0,0200 г помещалась в колбу, наполненную водой 250 мл, далее содержимое встряхивалось в течение 15 мин. После в течение 2 мин раствор отстаивался, и анализировался процент выпадения листьев в осадок.

Для определения нефтеемкости навеска измельченного листового опада массой 1±0,001 г насыпалась в сито, которое погружалось в емкость с нефтью на 10 мин. После этого нефти давали стечь на протяжении 2 мин.

### Результаты исследования и их обсуждение

Дуб черешчатый (*Quercus robur*) – типовой вид рода Дуб (*Quercus*) семейства Буковые (*Fagaceae*) образует широколиственные леса (дубравы) на юге лесной и в лесостепной зонах. Широко распространен в Западной Европе и европейской части России, встречается на севере Африки и в Западной Азии. В листьях содержатся флавоноиды, пентозаны, дубильные вещества, кверцетин, а также красящие вещества. Во всех частях дуба имеются вещества дезинфицирующего и фитонцидного характера. Для описания листьев отобрано пять наилучших образцов (рис. 2).

Все образцы имеют одинаковый грязно-коричневый, бурый цвет, по мере уменьшения размеров область пятнистости становится меньше, первый и второй образец больше чем наполовину покрыты пятнами.



Рис. 2. Визуализация листьев *Quercus robur*

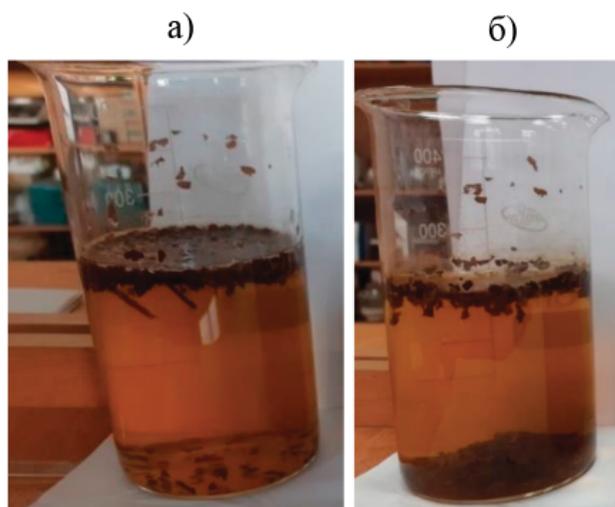


Рис. 3. Раствор листового опада *Quercus robur*:  
а) сутки отстаивания; б) трое суток отстаивания

Длина листа дуба уменьшается от 13,5 до 6 см с шагом 1,0–2,5 см в порядке уменьшения длины; ширина также уменьшается от 8 до 4 см с величиной шага 0,5–1,5 см; длина черешка примерно одинаковая на каждый лист 0,5 см; количество жилок варьируется от 9 до 21 шт. У листьев дуба выделяется головная жилка, расположенная посередине, вокруг которой ветвятся мелкие, создавая сетку. Средняя длина листа – 10 см, ширина – 5,8 см, длина черешка – 0,46 см, масса листа – 1,2393 г.

Измельченная масса листового опада *Quercus robur* разделялась на 6 фракций: 10,0; 5,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 и 0,1 мм. Исходя из размеров фракций, выделены три группы частиц: крупные – 5,0–10,0 мм, средние – 1,0–2,0 мм и мелкие – 0,5–0,1 мм.

Исходя из классификации нефтесорбентов (табл. 1 и 2) опавшая листва является сорбентом природного происхождения (листва) и относится к крупнодисперсным частицам (хлопья). По методике ГОСТ 33627-2015 исследованы сорбционные свойства опавших листьев дуба черешчатого как адсорбента II типа.

По результатам исследований плавучести можно сделать вывод об отсутствии осадка после отстаивания и перемешивания опытных образцов на протяжении 5 мин мелкой и средней фракции; в осадке крупной фракции соответственно выпадают лишь черенки. Раствор листового опада *Quercus robur* после суток отстаивания приобрел окрас от золотисто-коричневого до чайного цвета (рис. 3).

В соответствии с табл. 3 листовой опад *Quercus robur* имеет высокую плавучесть. Влагоемкость оставила 3,6 г/г. Следует отметить, что в работе [16] проведена оценка водопоглощения коры дуба, которая составила 3,4 г/г и соизмерима с полученными в работе результатами.

Нефтеемкость дуба черешчатого в соответствии с полученными в работе результатами составила 4,67–5,91 г/г. Аналогичные результаты (4,77–5,06 г/г) получены исследователями из Казанского национального исследовательского технологического университета по коре дуба. Соответственно, сорбент из опавшей листвы может быть использован для ликвидации небольших разливов нефти и нефтепродуктов.

### Заключение

Таким образом, растительные отходы, в частности опавшие листья, урбанизированной территории представляют собой ценный ресурс и могут быть использованы для различных целей – от получения удобрений до получения бумаги. Также при переходе мирового сообщества на экономику замкнутого цикла опавшие листья следует рассматривать как материал для получения биосорбента. На примере урбанизированной территории Уфы исследованы сорбционные характеристики опавшей листвы, а именно *Quercus robur*. Полученная нефтеемкость листьев дуба составила 4,67–5,91 г/г, что сопоставимо с нефтеемкостью сорбентов, присутствующих на рынке, например таких, как «Экограннефторф»

(не менее 4 г/г), «Нефлесорб» (4,6–9 г/г), «ЭКОПРОСОРБ» (5,5–6,6 г/г). При этом возможно повысить нефтеемкость получаемых биосорбентов путем модификации опавшей листвы разнообразными методами: гидротермальной и термообработкой, ацетилированием, использованием растворов  $\text{NaClO}_2$  и  $\text{NaOH}$ , стеарата кальция и жирных кислот.

Полученные в работе результаты будут интересны исследователям в области нефлесорбентов и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов.

### Список литературы

1. Губанова А.Д., Костенко М.Ю., Костенко Н.А., Липин В.Д., Рембалович Г.К. Обоснование параметров технических средств для утилизации опавших листьев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2021. № 1 (49). С. 104–112.
2. Konaka T., Yabuta S., Mazereku C., Kawamitsu Y., Tsujimoto H., Ueno M., Akashi K. Use of carbonized fallen leaves of *Jatropha curcas* L. as a soil conditioner for acidic and undernourished soil // *Journals of Agronomy*. 2019. Vol. 9, Is. 5. P. 236–241. DOI: 10.3390/agronomy9050236.
3. Чериков С.Т., Черикова Д.С., Шамыралиев Ж.Д. Эколого-экономическая эффективность органоминерального удобрения из древесно-растительных отходов городского лесопаркового хозяйства // Вестник Бишкекского гуманитарного университета. 2015. № 2 (32). С. 233–235.
4. Meng L.F., Li J.Z., Qingbin Y., Nan H. Fallen leaves are superior to tree pruning as bulking agents in aerobic composting disposing kitchen waste // *Journal of Bioresource Technology*. 2022. Vol. 346. P. 257–261. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126374.
5. Cheng Y., Wan W. Strong linkage between nutrient-cycling functional gene diversity and ecosystem multifunctionality during winter composting with pig manure and fallen leaves // *Journal of Science of the total environment*. 2023. Vol. 867. P. 187–198. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.161529.
6. Карманов В.В., Валько Н.И. Технология и оборудование переработки отходов растительной биомассы для получения топливных брикетов, гранул и пеллет // Вестник Херсонского национального технического университета. 2015. № 1 (52). С. 92–97.
7. Gonzalez W.A., Lopez D., Perez J.F. Biofuel quality analysis of fallen leaf pellets: Effect of moisture and glycerol contents as binders // *Journals of Renewable Energy*. 2020. Vol. 147. № 1. P. 1139–1150. DOI: 10.1016/j.renene.2019.09.094.
8. Wojcik W., Pawłowska M. Biomass as raw material for the production of biofuels and chemicals. Routledge, 2021. 240 p.
9. Юсупова А.И., Галимова Р.З., Шайхиев И.Г., Свергузова С.С. Сорбционная очистка модельных растворов от ионов железа опилками коры и листвой дуба черешчатого (*Quercus robur*) // Вестник технологического университета. 2018. № 6. С. 77–82.
10. Park J., Kim H., Kim Y., Seo D. Adsorption characteristics of anionic dye by Fe-decorated biochar derived from fallen leaves // *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 2020. Vol. 39, Is. 4. P. 289–296. DOI: 10.5338/KJEA.2020.39.4.34.
11. Alhajali O., Ali-Nizam A., Almostafa R. Application of *Pistacia atlantica* leaves powder as natural material to remove nitrate and phosphate ions from domestic wastewater by characterization, bio-removal, and phytotoxicity studies // *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*. 2022. Vol. 9, Is. 3. P. 759–776. DOI: 10.18596/jotcsa.1026262.
12. Alorabi A., Alharthi F., Azizi M., Al-Zaqri N., Elmarghany A., Abdelshafeek K. Removal of Pb(II) from synthetic wastewater by *Lavandula pubescens* Decne. biosorbent: insight into composition-adsorption relationship // *Applied sciences*. 2020. Vol. 10, Is. 7450. DOI: 10.3390/app10217450.
13. Артемов А.В., Ершова А.С., Якимова А.Б. Изучение возможности получения пластиков без связующих веществ на основе листьев финиковой пальмы // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023. № 3 (129). С. 1–7.
14. Ершова А.С., Савиновских А.В., Артемов А.В., Буриндин В.Г. Использование отходов лесопарковых зон для получения пластиков без добавления связующих веществ // *Леса России и хозяйство в них*. 2019. № 2 (69). С. 62–69.
15. Таурбеков А.Т., Кайдар Б.Б., Черноглазова Т.В., Мансуров З.А. Получение целлюлозных волокон из опавших листьев карагача // *Горение и плазмохимия*. 2020. Т. 118, № 3. С. 141–148.
16. Зарипова А.Р., Шайхиев И.Г., Хаматгалимова Д.Н. О возможности использования коры дуба черешчатого (*Quercus robur*) в качестве нефлесорбента // *Рациональное использование природных ресурсов и переработка технологического сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология*. 2023. С. 365–369.

УДК 550.42  
DOI 10.17513/use.38230

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРА ПО ДОБЫЧЕ ГИПСА НА СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА (НА ПРИМЕРЕ ХОЛМОГОРСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

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.** Общемировая тенденция по развитию горнодобывающей промышленности накладывает свое влияние и на разработку новых месторождений сырья для производства строительных материалов в Российской Федерации. Существенное увеличение предприятий по добыче полезных ископаемых отмечается в последние десятилетия и в Архангельской области. Наряду с растущими темпами добычи полезных ископаемых растет и негативное влияние на окружающую среду. В рамках экспедиции, прошедшей в августе 2023 г., проведены работы по отбору проб донных отложений и почвенного покрова в непосредственной близости от карьера по добыче гипсового камня. Цель работы – определение возможного негативного воздействия разработки месторождения гипса в Холмогорском районе Архангельской области на донные отложения и почвенный покров участков, расположенных в непосредственной близости от места добычи. Итогом исследовательской работы стала фиксация повышенных концентраций тяжелых металлов, таких как Cd, Mo в пробах донных отложений, Cd, Mn, Pb, Zn в пробах почв (органоминеральный горизонт А0 0–5 см). Проведено сопоставление полученных данных с ранее проведенными исследованиями поверхностных водотоков на содержание макро- и микроэлементов, а также снежного покрова. Выявленные превышения показателей по Pb, Zn отмечаются в снежном покрове, водотоках и почвах, что свидетельствует о техногенном воздействии, превышения же по Са в поверхностных водах и донных отложениях определяются естественными процессами растворения гипсов, интенсифицированными в процессе антропогенного влияния на массивы горных пород.

**Ключевые слова:** экология, химические элементы, гипсовый карьер, донные отложения, почвы

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 122011300333-1; тема FUUW-2022-0043).*

## STUDY OF THE NEGATIVE IMPACT OF GYPSUM QUARRY DEVELOPMENT ON THE COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS AND SOIL COVER (ON THE EXAMPLE OF KHOLMOGORSKY DISTRICT OF ARKHANGELSK REGION)

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.** The global trend in the development of the mining industry also affects the development of new deposits of raw materials for the production of construction materials in the Russian Federation. A significant increase of mining enterprises has been observed in recent decades in the Arkhangelsk region. Along with the growing rates of mineral extraction, the negative impact on the environment is also increasing. As part of the expedition, which took place in August 2023, we carried out sampling of bottom sediments and soil cover in the immediate vicinity of the gypsum stone quarry. The purpose of the work was to determine the possible negative impact of gypsum deposit development in Kholmogorsky district of Arkhangelsk region on the bottom sediments and soil cover of the areas located in the immediate vicinity of the mining site. The research work resulted in fixation of increased concentrations of heavy metals such as Cd, Mo in bottom sediment samples, Cd, Mn, Pb, Zn in soil samples (organomineral horizon A0 0–5 cm). The obtained data were compared with earlier studies of surface watercourses for the content of macro- and microelements, as well as snow cover. The revealed excesses of Pb, Zn are observed in snow cover, watercourses and soils, which indicates an anthropogenic impact, while the excesses of Ca in surface water and bottom sediments are determined by natural processes of gypsum dissolution, intensified in the process of anthropogenic impact on rock massifs.

**Keywords:** ecology, chemical elements, gypsum quarry, bottom sediments, soils

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

Рост строительной отрасли Российской Федерации подталкивает развитие горнодобывающих предприятий, специализирующихся на добыче общераспространен-

ных полезных ископаемых, таких как гипс, мел, известняк и др. Основным вектором развития предприятий является экологичность готовой продукции, а следовательно,

и процессов добычи сырья. В рамках контроля воздействия на окружающую среду на предприятиях организованы службы горно-экологического мониторинга, сфера контроля которых ограничивается горным или земельным отводом предприятия, а в некоторых случаях зонами негативного воздействия горных выработок. Для месторождения гипса в Холмогорском районе Архангельской области опасный радиус установлен в пределах 500 м от границ горного отвода. Для получения более комплексной оценки влияния разработки на район исследования в августе 2023 г. проведена научная экспедиция, целью которой являлся отбор проб поверхностных вод, донных отложений и почвенного покрова. Исследовательская работа была направлена на изучение степени влияния деятельности промышленного предприятия на специфику загрязнения компонентов окружающей среды при функционировании полного комплекса горных работ по извлечению гипса, степени взаимодействия между геосферами в переносе вредных веществ, а также в распределении и накоплении тяжелых металлов и макроэлементов в донных отложениях и почвенном покрове, расположенных в непосредственной близости от месторождения. Актуальность исследования определена тем, что перенос загрязняющих веществ из атмосферного воздуха в результате добычных и вскрышных работ в природные воды приводит к накоплению химических элементов в педосфере и донных отложениях, что может сказываться на состоянии растительности и фауны.

Цель работы – систематизация воздействия разработки месторождения гипсов на специфику загрязнения окружающей среды, в том числе на распределение и аккумуляцию тяжелых металлов в донных отложениях и педосфере. Задачами исследования являлись отбор проб донных отложений и почв на участках в непосредственной близости от крупных водотоков района, установление особенностей распределения тяжелых металлов и макроэлементов, объяснение основных факторов загрязнения, а также сравнение полученных данных с ранее проведенными исследованиями снежного покрова и поверхностных вод.

### Материалы и методы исследования

Планом научной экспедиции лета 2023 г. были определены точки отбора 10 проб донных отложений и 14 проб почв. На рис. 1 и 2 показаны районы исследования и точки отбора проб. Площадь участка изучения составила 1 322 га. Отбор проб был привязан к крупным водным объектам региона, к ним можно отнести р. Позера и Чуга с притоками, а также оз. Сенное и Карасиное.

Донные осадки массой примерно 1 кг отбирались с помощью ручного пробоотборника Петерсона (~0,5 м от берега, илистые отложения). После отбора образцы донных осадков высушивались в сушильном шкафу BINDER E28 при температуре 105 °С до воздушно-сухого состояния. Гранулометрический состав донных осадков определялся с помощью вибрационной просеивающей машины AS 200 Control.



Рис. 1. Участок экспедиции 2023 г.

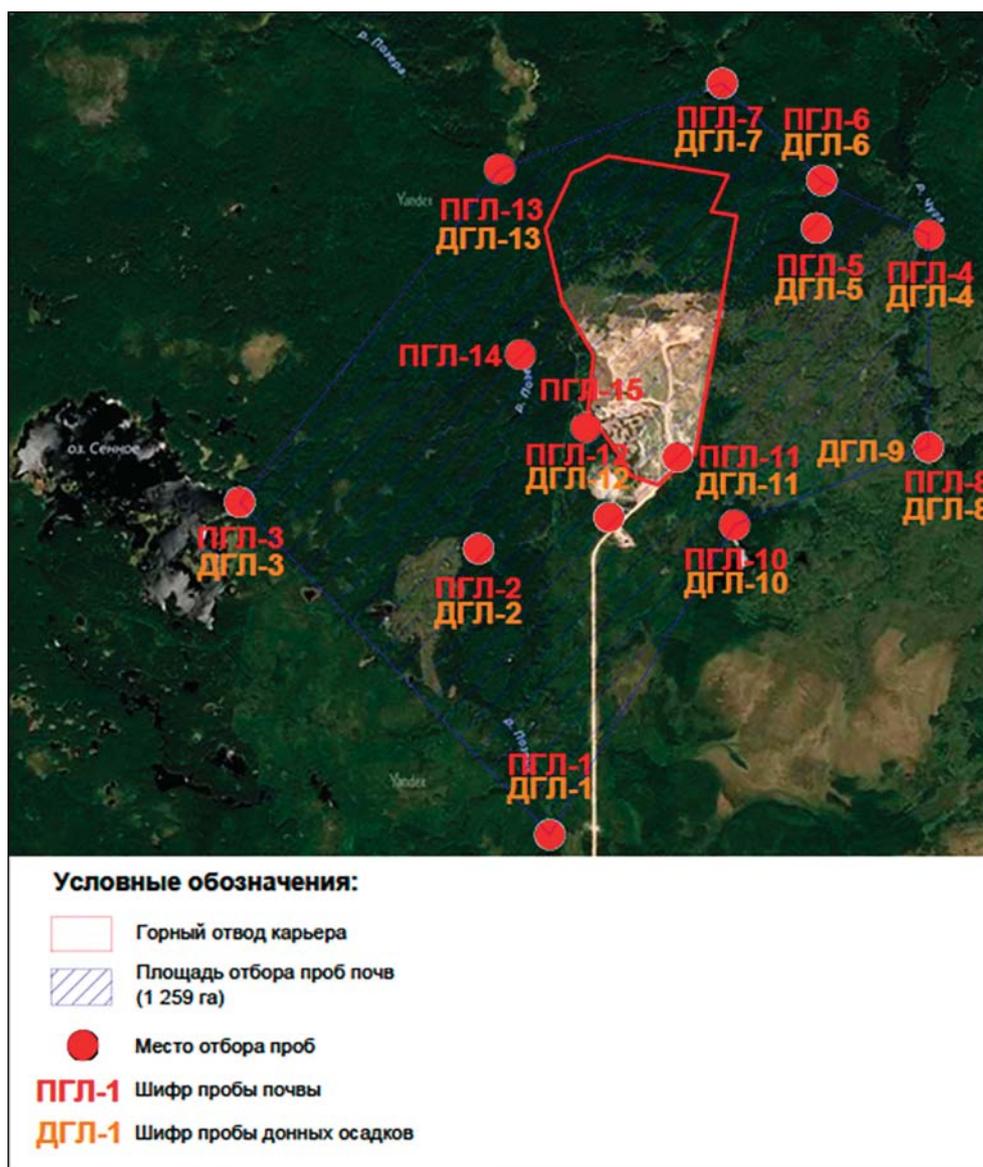


Рис. 2. Схема расположения точек отбора проб донных отложений, почв

Подготовку образцов для анализа осуществляли следующим способом. Навеску предварительно высушенного и измельченного образца массой 0,50 г помещали в тефлоновый автоклав, заливали 5 мл азотной кислоты и 5 мл деионизированной воды. Разложение проводили в микроволновой системе пробоподготовки TOPwave (AnalytikJena, Германия), продолжительность цикла 45 мин, температурный диапазон 200 °С. Полученные растворы отфильтровывали и доводили до объема 50 мл.

Определение содержания элементных примесей в исследуемых образцах проводили на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000 (Shimadzu, Япония). Градуировка спектро-

метра была проведена по серии растворов с различным содержанием исследуемых элементов, приготовленных с использованием стандартных растворов ICP multi-element standard solution VI и Hg (Merck, Германия). Условия измерения: стандартная горелка, направление обзора плазмы – аксиальное, мощность радиочастотного генератора – 1,2 кВт, поток плазмообразующего газа (аргон) – 14 л/мин, потоки дополнительного газа и газа-носителя (аргон) – 1,2 и 0,7 л/мин соответственно, время регистрации сигнала – 30 с, время промывки растворителем – 25 с, время промывки образцом – 25 с, количество повторностей – 3. Определялись следующие элементы: Ti, Fe, As, Sb, Cd, Co, Cr, Pb, Ni, V, Mn, Mo, Zn, Cu.

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

*Донные отложения.* Основой полученных данных по исследованию донных отложений является то, что они в своем роде служат катализирующей средой, способной сохранять поступающие химические элементы, а также передавать знания о состоянии экологии всего поверхностного водотока и водосбора, при этом следы техногенной деятельности будут ярко выражены при анализе показателей качества отложений. Темпы и объемы формирования донных отложений, а также уровень загрязненности их слоев различны на всем протяжении существования водного объекта, что позволяет проследить как воздействие изменяющейся техногенной нагрузки на речные экосистемы во времени, так и изменение тех естественных процессов, которые протекают в ней [1, с. 431–436]. В рамках нашего исследования проведены работы по определению содержания следующих элементов  $\text{Ca}^{2+}$ , Fe, K,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , Ti, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, V, Zn. Показатели валовой концентрации по тяжелым металлам изменяются от 878,66 мг/кг в точке ДГЛ-3 до 10716,1 мкг/л в точке ДГЛ-7. Также высокие значения выявлены в точках ДГЛ-1 (7630,22 мг/кг), ДГЛ-6 (7574,00 мг/кг), при этом точки отбора расположены как рядом с карьером ДГЛ-6, так и на максимальном расстоянии от него ДГЛ-1 (табл. 1). Нужно отметить, что основным тяжелым металлом, выявленным в ходе исследования, является Fe, среднее содержание данного элемента составляет 5268,1 мг/кг, что соответствует 94% от общего количества тяжелых металлов. Концентрации марганца и железа до 200–700 мкг/л – распространенное явление для мелких рек Архангельской области, основу питания которых составляют болотные поля [2, с. 1118–1130]. Железо является переходным элементом и в зависимости от окислительно-восстановительного потенциала вод имеет степень окисления +2 или +3. Большую роль в форме нахождения железа играют pH, Eh и наличие в воде органического вещества. Для  $\text{Fe}^{3+}$  характерно образование устойчивых комплексных соединений с гумусовыми соединениями – фульво- и гуминовыми кислотами, а также с некоторыми неорганическими лигандами, особенно OH-. Поэтому можно полагать, что наличие в поверхностных водах органического вещества является основным фактором сохранения железа в поверхностных водах района, а следовательно, и нако-

пления его в донных отложениях [3, с. 15–27]. В качестве ПДК для донных отложений использовались параметры кларков глин [4, с. 175–192]. В результате было установлено превышение кларковых содержаний у следующих элементов Ca, Cd, Mo, также высокое содержание, соответствующее пределу 0,5–1 от кларкового, отмечается у Cu, Sr (по одной пробе). Превышения ПДК для Cd и Mo отмечаются в 90% проб, косвенно указывая на участие естественных факторов в накоплении данных металлов. Максимальное содержание Cd отмечается в точке ДГЛ-7 (1,3 мг/кг – превышение в 4,33 раза) и ДГЛ-6 (1,2 мг/кг – превышение в 4,0 раза), минимальное в точке ДГЛ-3 (0,1 мг/кг – 0,33 от кларка) и ДГЛ-4 (0,44 мг/кг – превышение в 1,47 раз). Молибден, как биометалл, участвует в углеводном обмене, а также в синтезе хлорофилла. Связь между повышенным содержанием молибдена и ростом первичной продукции сине-зеленых водорослей – цианобактерий и азотобактерий, фиксирующих азот, установил в 1930-е гг. А.П. Виноградов [5, с. 113–118; 6, с. 84]. Таким образом, молибден не просто мигрирует и накапливается в органическом веществе фитопланктона донных отложений, но и активно стимулирует рост последнего [5, с. 113–118; 6, с. 84]. В результате обработки данных удельных концентраций металлов, в программе Surfer 8.0 созданы двухмерные модели пространства с указанием распределения элементов на изучаемой площади (рис. 3).

*Почвенный покров.* Загрязнение почв тяжелыми металлами в условиях техногенного воздействия – распространенная практика в современных реалиях. В нашей работе проводится сравнение загрязнения почвенного покрова с кларковыми значениями [4, с. 175–192], а также ПДК для почв в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 [7, с. 34–37; 8]. Валовая концентрация тяжелых металлов варьирует в пределах от 1030,05 мг/кг в точке ПГЛ-10 до 3813,74 мг/кг в точке ДГЛ-15 и 3200,16 мг/кг в точке ДГЛ-11 (табл. 2). Отличительной особенностью накопления металлов в почвах по сравнению с донными отложениями является существенно меньшее количество железа, средний взвешенный показатель составляет 1003,22 мг/кг Fe, что соответствует 56% от общей массы тяжелых металлов. Это обуславливается тем, что основным источником поступления железа являются водные объекты региона, в том числе болотные поля.

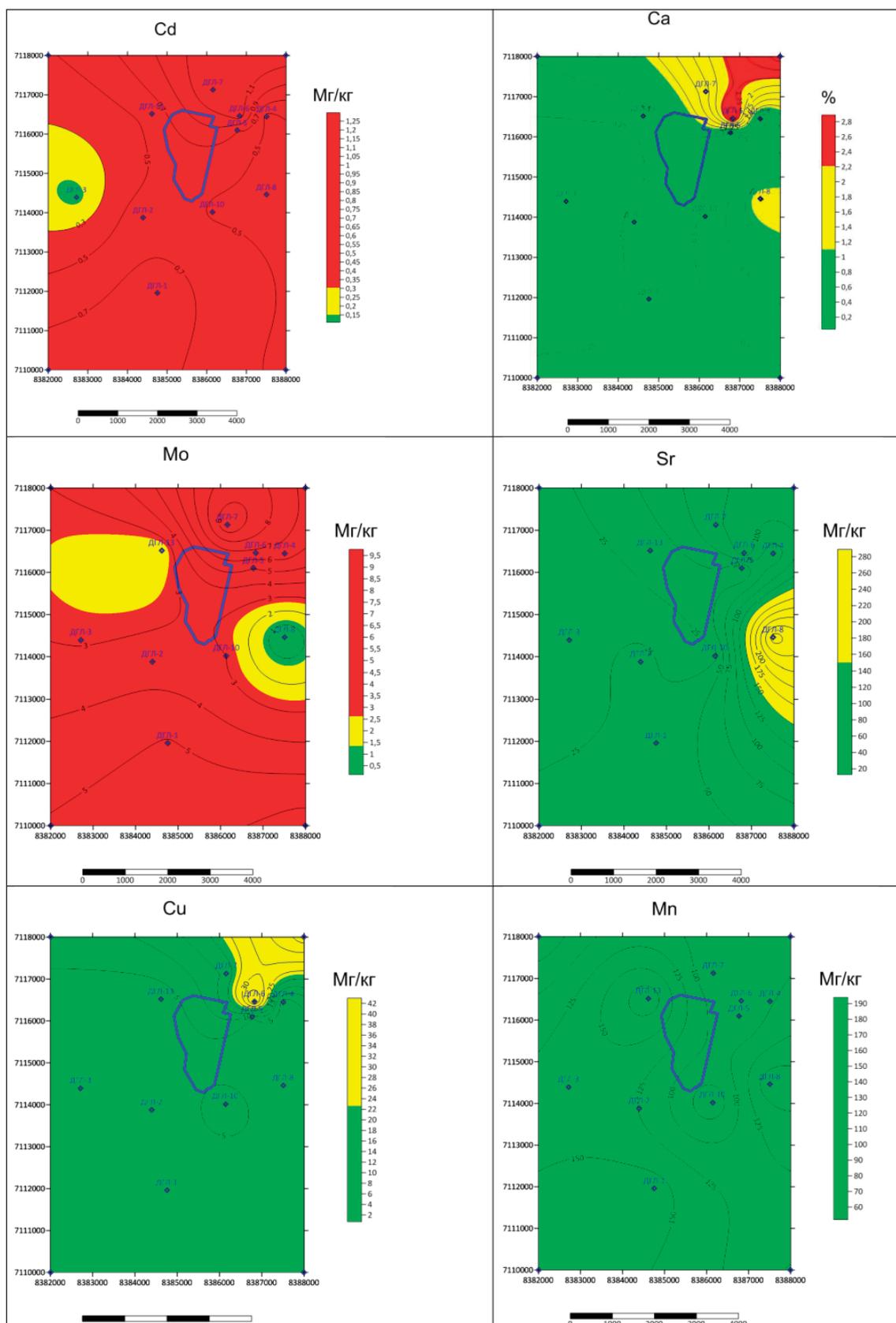


Рис. 3. Двухмерные модели группирования тяжелых металлов в донных отложениях вблизи месторождения гипса, мг/кг, %. Превышения значений кларков показаны красным, предел от 50 до 100% значения кларка – желтым, менее 50% кларка – зеленым цветом

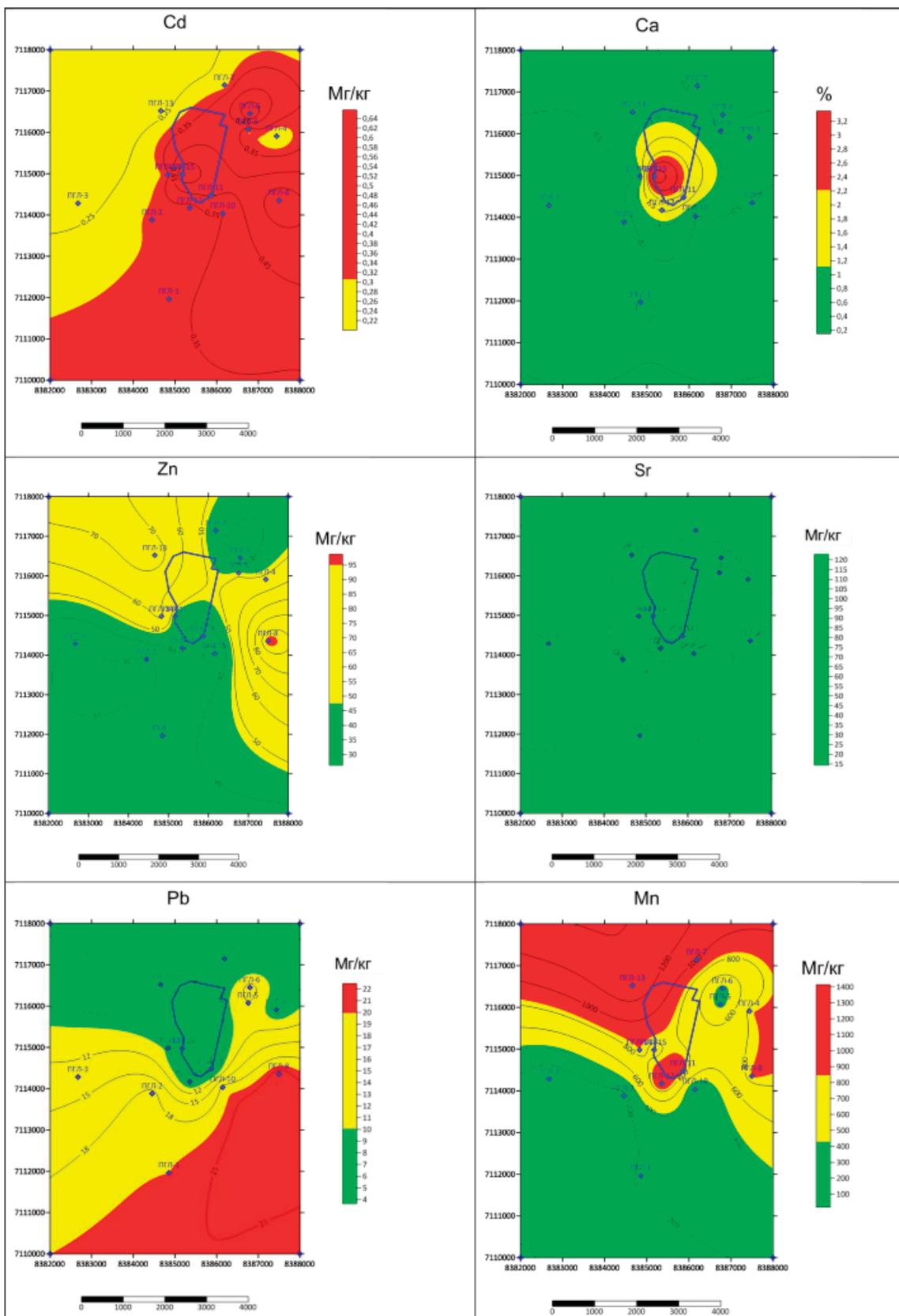


Рис. 4. Двухмерные модели группирования тяжелых металлов в почвах вблизи месторождения гипса, мкг/кг, %. Превышения значений кларков показаны красным, предел от 50% до 100% значения кларка – желтым, менее 50% кларка – зеленым цветом

Таблица 1

## Показатели донных отложений

№ пробы	Ca <sup>2+</sup>	Fe	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ti	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sr	V	Zn	∑ Итого, мг/кг	∑ т.м., мг/кг	% Fe
	%																	мг/кг		
ДГЛ-1	0,29	0,73	0,05	0,17	0,00	0,01	0,82	2,50	9,00	2,30	163,00	5,10	7,20	2,30	32,00	11,00	22,00	12 753,22	7 630,22	96%
ДГЛ-2	0,30	0,60	0,04	0,13	0,00	0,01	0,64	1,10	7,00	1,80	124,00	3,60	5,40	1,40	31,00	8,00	16,00	10 977,94	6 280,94	96%
ДГЛ-3	0,04	0,08	0,01	0,02	0,00	0,01	0,10	0,00	1,40	0,30	8,00	2,90	0,80	0,66	1,70	2,20	1,60	1 612,66	878,66	90%
ДГЛ-4	0,46	0,33	0,03	0,25	0,00	0,00	0,44	0,00	3,50	1,80	98,00	6,50	3,80	0,80	57,00	4,30	8,50	10 940,64	3 555,64	94%
ДГЛ-5	0,33	0,65	0,07	0,21	0,00	0,01	0,71	1,60	9,60	5,30	74,00	5,00	9,40	2,30	23,00	11,00	18,00	12 773,91	6 732,91	97%
ДГЛ-6	2,89	0,71	0,11	0,40	0,01	0,01	1,20	0,90	19,0	43,0	95,00	6,70	15,0	8,20	121,0	22,00	27,00	41 638,00	7 574,00	93%
ДГЛ-7	1,64	1,03	0,12	0,26	0,01	0,01	1,30	1,80	20,0	16,0	74,00	9,90	16,0	5,10	96,00	19,00	36,00	30 895,10	10 716,10	96%
ДГЛ-8	1,27	0,31	0,05	0,40	0,01	0,00	0,48	0,00	4,20	2,30	171,00	0,00	4,40	1,20	290,0	5,30	8,30	20 877,18	3 672,18	86%
ДГЛ-10	0,54	0,27	0,01	0,11	0,00	0,01	0,48	0,00	5,90	7,10	52,00	3,00	5,60	4,80	15,00	7,50	13,00	9 558,38	2 932,38	93%
ДГЛ-13	0,31	0,55	0,02	0,10	0,00	0,01	0,56	1,10	5,20	1,90	196,00	2,00	4,60	1,30	34,00	6,10	15,00	10 178,76	5 807,76	95%
Среднее	0,81	0,53	0,05	0,20	0,01	0,01	0,67	0,90	8,48	8,18	105,50	4,47	7,22	2,81	70,07	9,64	16,54	16 220,58	5 578,08	94%
Глина (Turekian К.К. and Wedepohl К.Н., 1961)	2,21	4,72	2,66	1,5	0,96	9,46	0,3	19	90	45	850	2,6	68	20	300	130	95			
Отношение среднего содержания элемента к кларкам глин	36%	11%	2%	14%	1%	0%	224%	5%	9%	18%	12%	172%	11%	14%	23%	7%	17%			

Таблица 2

Показатели почвенного покрова

№ пробы	Ca <sup>2+</sup>	Fe	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ti	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sr	V	Zn	∑ итого, мг/кг	∑ т.м., мг/кг	% Fe в т.м.
	%															мг/кг		
ПГЛ-1	0,515	0,097	0,058	0,057	0,004	0,003	0,340	1,300	4,800	219,000	3,200	20,000	23,000	5,600	38,000	7 648,24	1 317,24	74 %
ПГЛ-2	0,244	0,094	0,090	0,049	0,004	0,003	0,320	1,200	4,000	123,000	4,200	19,000	19,000	3,500	28,000	5 036,22	1 167,22	80 %
ПГЛ-3	0,211	0,115	0,043	0,026	0,008	0,005	0,230	1,300	2,400	39,000	2,700	13,000	17,000	4,400	28,000	4 186,03	1 305,03	88 %
ПГЛ-4	0,715	0,038	0,103	0,077	0,004	0,002	0,240	0,800	6,300	841,000	1,800	8,100	21,000	3,000	52,000	10 325,24	1 334,24	29 %
ПГЛ-5	0,411	0,106	0,109	0,040	0,004	0,004	0,300	1,600	4,100	373,000	2,000	12,000	18,000	4,100	49,000	7 207,10	1 561,10	68 %
ПГЛ-6	0,407	0,081	0,105	0,069	0,004	0,003	0,670	1,200	4,200	362,000	2,100	13,000	24,000	3,300	34,000	7 128,47	1 281,47	63 %
ПГЛ-7	0,414	0,050	0,148	0,080	0,004	0,002	0,280	1,200	4,600	1031,000	2,400	4,900	16,000	2,200	43,000	8 084,58	1 625,58	31 %
ПГЛ-8	0,453	0,086	0,090	0,086	0,004	0,003	0,630	1,500	7,300	864,000	3,500	22,000	20,000	3,300	99,000	8 243,23	1 910,23	45 %
ПГЛ-10	0,492	0,075	0,077	0,049	0,006	0,002	0,350	1,100	4,600	183,000	2,000	19,000	21,000	4,000	26,000	7 265,05	1 030,05	72 %
ПГЛ-11	1,850	0,204	0,097	0,266	0,006	0,006	0,460	3,200	4,100	919,000	4,000	5,300	129,000	6,100	33,000	25 388,16	3 200,16	64 %
ПГЛ-12	1,550	0,082	0,108	0,105	0,005	0,003	0,310	1,500	5,300	1010,000	3,900	7,700	87,000	3,400	42,000	19 689,11	2 011,11	41 %
ПГЛ-13	0,737	0,038	0,227	0,077	0,003	0,001	0,224	0,832	5,417	1380,000	2,538	5,619	21,478	2,495	75,239	12 328,02	1 887,33	20 %
ПГЛ-14	0,584	0,047	0,115	0,081	0,004	0,002	0,323	0,939	5,790	855,443	2,240	9,640	27,706	2,130	61,881	9 286,84	1 453,68	32 %
ПГЛ-15	3,520	0,291	0,168	0,459	0,007	0,004	0,651	4,159	5,991	738,105	5,227	6,246	48,449	6,696	43,938	45 353,03	3 813,74	76 %
Среднее	0,865	0,100	0,110	0,109	0,005	0,003	0,381	1,559	4,921	638,396	2,986	11,822	35,188	3,873	46,647	12 654,95	1 778,44	56 %
Глина (Turekian K.K. and Wederohl K.H., 1961)	2,21	4,72	2,66	1,5	0,96	9,46	0,3	90	45	850	68	20	300	130	95			
Отношение среднего содержания элемента к кларкам глин	39 %	2 %	4 %	7 %	0 %	0 %	127 %	2 %	11 %	75 %	4 %	59 %	12 %	3 %	49 %			

В результате исследований было установлено превышение значений кларков у следующих элементов: Ca, Cd, Mn, Pb, Zn. Превышение кларковых значений для Cd отмечается в 64 % проб, при этом превышение значения ПДК для почв – 0,50 мг/кг отмечено в пробах ПГЛ-6, ПГЛ-15 и ПГЛ-8 [8]. Максимальное содержание Cd отмечается в точке ПГЛ-6 (0,67 мг/кг – превышение в 2,23 раза кларка) и ПГЛ-15 (0,651 мг/кг – превышение в 4,0 раза кларка), минимальное – в точке ДГЛ-3 (0,1 мг/кг – 0,33 значения кларка) и ДГЛ-4 (0,44 мг/кг – превышение в 2,17 раз кларка). Кларк марганца в почвах составляет 850 мг/кг, при этом значение ПДК для почв – 1500 мг/кг [9, с. 142]. Средняя концентрация марганца в почвах составила 638 мг/кг, что не превышает ПДК и кларкового значения. Превышение кларка по марганцу отмечается в 42% проб, максимальные значения отмечены в точках ПГЛ-13, ПГЛ-7 и ПГЛ-12. Точка отбора пробы ПГЛ-8 отмечается превышением кларковых значений по свинцу и цинку. Нужно отметить, что органоминеральный горизонт в данной точке имел меньшую мощность по сравнению с другими точками – 3 см; основной причиной этого являлись лесные пожары, которые, судя по высоте подроста, произошли примерно 30 лет назад. Поэтому повышенное содержание свинца и цинка в точке ПГЛ-8 можно связать с лесным пожаром. При лесных низовых пожарах происходит накопление Pb, Zn, Cd, Hg в слое от 0 до 5 см, в низших слоях содержание указанных металлов уменьшается [10, с. 11–13; 11]. Результатом обработки данных удельных концентраций металлов в программе Surfer 8.0 созданы двухмерные модели пространства с указанием распределения элементов на изучаемой площади (рис. 4).

### Заключение

Проведенные исследования подтверждают, что концентрации тяжелых металлов и макроэлементов в верхнем слое педосферы и в донных отложениях вокруг карьера на месторождении Глубокое имеют как природные, так и техногенные источники. Результатом работы явилась фиксация повышенных концентраций Cd и Mo в пробах донных отложений и Cd, Mn, Pb и Zn в пробах почв (органоминеральный горизонт А0 0–5 см). При этом превышение ПДК для почв по свинцу и цинку отмечается только в точке ПГЛ-8 и связано с ранее происходившими лесными пожарами. Выполненные исследования позволили составить сле-

дующую последовательность распределения микроэлементов по концентрациям для донных отложений: Mn (638,396 мг/кг) > Zn (46,647 мг/кг) > Sr (35,188 мг/кг) > Pb (11,822 мг/кг) > Cu (4,921 мг/кг) > V (3,873 мг/кг) > Ni (2,986 мг/кг) > Cr (1,559 мг/кг) > Cd (0,381 мг/кг), Co и Mo не обнаружены; а также для почвенного покрова: Mn (105,5 мг/кг) > Sr (70,070 мг/кг) > Zn (16,54 мг/кг) > V (9,64 мг/кг) > Cr (8,48 мг/кг) > Cu (8,18 мг/кг) > Ni (7,22 мг/кг) > Mo (4,47 мг/кг) > Pb (2,806 мг/кг) > Co (0,9 мг/кг) > Cd (0,673 мг/кг). При сопоставлении полученных данных с ранее проведенным исследованием снежного покрова и поверхностных вод в пределах карьера гипса можно отметить закономерность в превышении ПДК и кларков по кальцию, что является следствием добычных работ на месторождении гипса. При проведении взрывных работ происходит нарушение целостности массива, и это способствует более быстрому растворению горной породы с последующим накоплением компонентов ее состава в почвах и донных отложениях. Превышение кларковых значений по кадмию, отмеченное как в почвах, так и донных отложениях, частично можно связать с антропогенным воздействием.

Практическая значимость данного исследования заключается в возможности оценки влияния деятельности горнопромышленного предприятия на окружающую среду, в частности на распределение и накопление тяжелых металлов и макроэлементов в донных отложениях и почвах вблизи месторождения гипсов. Результаты исследования позволят добывающему предприятию скорректировать программу работ по мониторингу окружающей среды.

### Список литературы

1. Захарова В.И., Гордеева И.В., Балымова Е.С. Изучение влияния сброса очищенных сточных вод на состояние донных илов литоральной зоны // Пищевые технологии и биотехнологии: Материалы XVII Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием / Под ред. А.С. Сироткина. 2021. С. 431–436.
2. 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.
3. Малов А.И. Влияние сброса дренажных вод из кимберлитового карьера на качество речных вод // *Вода: химия и экология.* 2019. № 7–9. С. 15–27.
4. Turekian K.K. and Wedepohl K.H. Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust // *Geological Society of America.* 1961. Vol. 72. P. 175–192.

5. Хорошевская В.О. Распределение ванадия, никеля и молибдена в донных отложениях Таганрогского залива // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2015. № 3. С. 113–118. DOI: 10.18522/0321-3005-2015-3-113-118.
6. Хорошевская В.О. Участие биометаллов в жизненном цикле фитопланктона и его деструкции (ванадий, никель и молибден). Германия, 2013. 84 с.
7. Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове в условиях техногенеза // Самарский научный вестник. 2016. Т. 5, № 1. С. 34–37. DOI: 10.17816/snv20161107
8. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания IV. Почва населенных мест и сельскохозяйственных угодий [Электронный ресурс]. URL: <https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=LAW&n=441707&dst=100136> (дата обращения: 04.02.2024).
9. Алексеенко В.В. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Недра, 1990. 142 с.
10. Журкова И.С. Влияние низового пожара на перераспределение химических элементов. [Электронный ресурс]. URL: [http://shakhov.igm.nsc.ru/pdf/Shakhov120-p246\\_250.pdf](http://shakhov.igm.nsc.ru/pdf/Shakhov120-p246_250.pdf) (дата обращения: 12.03.2024).
11. Rafael Baieta, Alda M.D. Vieira, Maria Vaňková, Martin Mihaljevič. Effects of forest fires on soil lead elemental contents and isotopic ratios // Geoderma. 2022. Vol. 414. P. 115760. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.115760.

УДК 551.583  
DOI 10.17513/use.38231

## НАУЧНО-ПРИКЛАДНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ОРГАНИЗМА ДЛЯ СМЯГЧЕНИЯ ОСТРОТЫ ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Несговорова Н.П., Савельев В.Г.

*ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», Курган, e-mail: geograf@kgsu.ru*

**Аннотация.** Глобальное потепление климата влияет на все процессы жизнедеятельности человека, различные отрасли экономики. В официальных международных и российских документах в качестве причины глобального потепления называется усиление парникового эффекта вследствие интенсивных выбросов углекислого газа от сжигания топлива – антропогенно-техногенный фактор. В то же время не следует исключать из причин обострения проблемы и природные факторы поступления углекислого газа в атмосферу. Одним из последствий глобального потепления является усиление аридизации климата. Данная проблема остро проявляется в Курганской области. Назрела необходимость в разрешении данной проблемы. Снизить концентрацию углекислого газа в атмосфере можно при выращивании растений с достаточно интенсивным процессом фотосинтеза. Научным сообществом предложена и обоснована идея создания полей по типу карбоновых ферм. На их территории проводятся наблюдения за растениями, способными интенсивно поглощать углекислый газ в процессе фотосинтеза при увеличении фитомассы, что создает условия для повышения адаптации растений к неблагоприятному воздействию окружающей среды. Аналогичная плантация была заложена на территории Ботанического сада Курганского государственного университета из растений семейства Тыквенные. У них достаточно хорошо развита фотосинтетическая активность за счет деятельности всей наземной вегетативной части растений. Проведен поиск стимуляторов роста и развития растений, что может способствовать адаптации растений семейства Тыквенные к действию климатических изменений. Результаты исследования позволяют утверждать, что тыквенные хорошо ассимилируют углекислый газ, могут быть использованы при создании карбоновых плантаций. При этом в соответствии с хозяйственными потребностями региона можно использовать растения семейства, относящиеся не только к разным сортам, но и из разных родов, будь то тыква, арбуз, огурец и др. Используя предпосевную обработку семян биологическими стимуляторами роста и развития растений, можно снизить риск воздействия высоких температур на рост и развитие растений и их фотосинтетическую активность.

**Ключевые слова:** климат, аридизация, углекислый газ, карбоновая ферма

## SCIENTIFIC AND APPLIED JUSTIFICATION FOR USING THE POTENTIAL OF PLANT ORGANISM TO MITIGATE THE ACUTUALITY OF THE PROBLEM OF CLIMATE CHANGE

Nesgovorova N.P., Savelev V.G.

*Kurgan State University, Kurgan, e-mail: geograf@kgsu.ru*

**Annotation.** Global warming affects all human life processes and various sectors of the economy. In official international and Russian documents, the cause of global warming is the strengthening of the greenhouse effect due to intensive carbon dioxide emissions from fuel combustion – an anthropogenic-technogenic factor. At the same time, natural factors of carbon dioxide entering the atmosphere should not be excluded from the reasons for the aggravation of the problem. One of the consequences of global warming is increased climate aridification. This problem is acute in the Kurgan region. There is a need to find a solution to this problem. The concentration of carbon dioxide in the atmosphere can be reduced by growing plants with a fairly intense photosynthesis process. The scientific community has proposed and substantiated the idea of creating fields similar to carbon farms. On their territory, observations are made of plants that are capable of intensively absorbing carbon dioxide during the process of photosynthesis with an increase in phytomass, which creates conditions for increasing the adaptation of plants to the adverse effects of the environment. A similar plantation was established on the territory of the Botanical Garden of Kurgan State University from plants of the Pumpkin family. They have fairly well developed photosynthetic activity due to the activity of the entire terrestrial vegetative part of plants. A search was carried out for stimulants of plant growth and development, which can contribute to the adaptation of plants of the Pumpkin family to the effects of climate change. The results of the study suggest that pumpkin plants assimilate carbon dioxide well and can be used to create carbon plantations. At the same time, in accordance with the economic needs of the region, you can use plants of the family belonging not only to different varieties, but also from different genera, be it pumpkin, watermelon, cucumber and others. Using pre-sowing treatment of seeds with biological stimulants of plant growth and development, it is possible to reduce the risk of exposure to high temperatures on the growth and development of plants and their photosynthetic activity.

**Keywords:** climate, aridization, carbon dioxide, carbon farm

Проблема изменения климата очень актуальна уже несколько десятков лет, над ней работают ученые всего мира. Изменение

климата – это комплексная, многосторонняя проблема, над ней работают специалисты разных научных направлений, от естествен-

ников, математиков, экономистов до гуманитариев (социологов, политологов), так как последствия изменения климата затрагивают все направления жизнедеятельности человека.

Научный коллектив Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова: Л.В. Бондаренко, О.В. Маслова, А.В. Белкина, К.В. Сухарева – обосновывает влияние климата на различные отрасли экономики, связывая его с ростом количества природных и техногенных катастроф, сокращением запасов пресной воды и другими природными явлениями [1, 2].

Как отмечает В.В. Снакин, климат на планете изменялся всегда – вследствие цикличности его развития и функционирования природных систем. Следовательно, цикличны температура воздуха и содержание углекислого газа в атмосфере Земли. Подтверждают свои выводы результатами исследования Э. Вайцеккер, Э. Ловинс. Так, Л. Ловинс отмечает наличие динамики за последние 160 тыс. лет концентрации углекислого газа в атмосфере и температуры, обнаруженной при химическом анализе «ископаемого воздуха» [3].

Наблюдается неравномерность по поверхности планеты Земля потепления климата. Так Межправительственной группой экспертов по изменению климата при оценке средней температуры земного шара отмечается, что она изменилась за последние сто лет на 0,75 °С. Данные Росгидромета за аналогичный период показывают, что потепление на территории Российской Федерации происходит быстрее. В.В. Снакин отмечает, что наиболее интенсивно теплеет к востоку от Уральских гор [3; 4, с. 13–14].

На территории Курганской области выявлена аналогичная динамика изменения температуры воздуха. По данным регионального центра Росгидромета, Курганского НИИ сельского хозяйства за последние 50 лет в границах г. Кургана наблюдается повышение температуры воздуха на 1,5–2 °С.

Последствия изменения климата в Курганской области проявляются в обмелении и пересыхании рек, регулярных холодных малоснежных зимах, более жарком и сухом лете, регулярных возвратах весенних заморозков, раннеосенних заморозках. Наблюдаются быстрый весенний сход снега, частые засухи, увеличивается число дней в году с сильным ветром, вследствие чего усиливается ветровая эрозия.

Ученые в области изменения климата считают, что основной причиной его измене-

ния является парниковое свойство углекислого газа. Межправительственная группа экспертов по изменению климата приводит данные о том, что концентрация углекислого газа в атмосфере повысилась за последние 200 лет в 1,3 раза [3].

Для разрешения проблемы необходим целый комплекс мероприятий, в том числе новые эффективные решения по снижению концентрации углекислого газа в атмосфере. Углекислый газ – основной исходный продукт фотосинтеза растений, следовательно, развивающиеся растения, используя фотосинтетическую активную радиацию, создавая органическое вещество, способны снижать концентрацию углекислого газа в атмосфере. Следовательно, при подборе для выращивания растений с достаточно интенсивным процессом фотосинтеза можно не только получать высокий урожай фитомассы, а и изымать из атмосферы и связывать в этой фитомассе значительное количество углекислого газа.

Создание полевых плантаций из растений, имеющих высокую способность к поглощению из атмосферы углекислого газа и связыванию его в органическом веществе собственной фитомассы – это один из путей решения проблемы, который декларируется в научном мире как создание карбоновых ферм (территорий, на которых увеличивается поглощение углекислого газа за счет внедрения специальных технологий при выращивании растений) [5].

Цель исследования – выявить интенсивность поглощения углекислого газа растениями карбоновой плантации, функционирующей в рамках Ботанического сада Курганского государственного университета.

#### Материалы и методы исследования

Исследование выполнялось в полевых условиях открытого грунта в 2022 и 2023 гг. Для опытно-экспериментальной работы были выбраны растения семейства Тыквенные, два сорта столовой тыквы: сорта Волжская серая и сорта Орешек. Выбор объектов обусловлен несколькими биологическими аспектами: а) значительной площадью фотосинтетической поверхности, б) высокой скоростью жизненного цикла, в) быстрым накоплением биомассы, г) важными хозяйственными признаками (кормовым и пищевым значением).

Для проведения эксперимента были подготовлены семена тыквы сорта Волжская серая, тыквы сорта Орешек. Для более интенсивного развития растений с пролон-

гированным эффектом на процесс фотосинтеза необходимо было подобрать соответствующий стимулятор роста и развития. Выбор стимулятора был сделан на основе изучения научной литературы, в том числе работы группы ученых «Влияние янтарной кислоты на фотосинтетическую активность яровой мягкой пшеницы» (Н.А. Цыганова, Н.А. Воронкова, В.Д. Дороненко, Н.Ф. Балабанова). Ученые доказали, что обработка семян яровой пшеницы янтарной кислотой способствует увеличению фотосинтетического потенциала до 20% [6]. Стимулирующее действие на ростовые процессы растений доказано А.А. Змушко, Т.А. Красинской в работе «Применение янтарной кислоты в растениеводстве» [7].

В технологический план опытно-экспериментальной работы было решено заложить в качестве экспериментального варианта обработку семян перед посевом раствором янтарной кислоты. Семена на 12 ч перед посевом были замочены в растворе стимулятора роста в концентрации 1 г на литр воды.

Раствор янтарной кислоты нами использовался как регулятор роста растений с пролонгированным действием на интенсивность фотосинтеза, а также как регулятор, способствующий адаптации растений к возможному стрессовому воздействию, так как она повышает устойчивость растений к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды, например экстремально высоких температур, ускоряет цветение и увеличивает урожайность. Кроме того, янтарная кислота, способствующая ускорению прорастания семян, может способствовать сдвигу начала активной вегетации растений на более ранние сроки, до периода высоких температур жаркого лета.

Контрольный вариант не обрабатывался раствором янтарной кислоты.

Посев семян был осуществлен на территории Ботанического сада Курганского государственного университета в середине мая на почвах типа чернозем обыкновенный карбонатный, тяжелосуглинистый с содержанием гумуса 3–4% (по Тюрину) с достаточно хорошим прогреванием почвы. Семена высевались широкорядовым способом по схеме 200 см \* 150 см. Площадь учетной делянки 36 м<sup>2</sup>. Расположение делянок систематическое. Повторность эксперимента четырехкратная.

В течение вегетационного периода проводили фенологические наблюдения по фазам развития за ростом и развитием расте-

ний (длиной и количеством лиан, длиной листового черешка, площадью листьев, количеством листьев на лиане, цветением, образованием и нарастанием плодов, массой плодов и др.) [8].

В соответствии с фазами развития экспериментально определяли ассимиляцию углекислого газа методом Сакса. Метод основан на способности листовой пластинки при накоплении в ней продуктов ассимиляции увеличиваться в весе. Учет вели при помощи аналитических весов. Определение поглощения углекислого газа растениями начинали при достаточно хорошо сформировавшихся листовых пластинках, когда на растении появилось больше десятка листьев.

Оценку динамики накопления органических веществ в различных частях растений (побегах, плодах) проводили методом озонирования, гравиметрическим методом и окисления органического вещества раствором двуххромовокислого калия.

Статистическая обработка результатов проводилась в программе Excel и заключалась в расчете среднего арифметического, ошибки среднего арифметического, расчете коэффициентов корреляции Пирсона.

### Результаты исследования и их обсуждение

#### *Динамика фенологических фаз и влияние стимулятора*

Предпосевная обработка семян тыквы янтарной кислотой ускорила наступление фаз появления всходов и начала цветения в экспериментальном варианте по сравнению с контролем. Разрыв во времени наступления фаз развития между контролем и экспериментом практически на неделю позволил экспериментальным растениям лучше адаптироваться к наступлению периода летних высоких температур, что оказало положительное влияние на ассимиляцию углекислого газа, накопление углеродсодержащих соединений в вегетативных и генеративных органах обоих сортов тыквы (таблица).

Фитомасса интенсивнее накапливается у тыквы сорта Орешек. Хорошо развитая листовая поверхность, развитая поверхность зеленых стеблей интенсивно ассимилируют углекислый газ. Статистический анализ результатов исследования позволил выявить положительную корреляционную зависимость между площадью листовой поверхности и интенсивностью поглощения углекислого газа тыквами (рис. 1).

Фенологические результаты

Сорт	Между фазами развития (кол-во дней)		
	Появление всходов, вегетация	Цветение	Плодоношение
Тыква Волжская серая (эксперимент)	4–5	50–52	120
Тыква Волжская серая (контроль)	6–7	56–59	120
Тыква Орешек (эксперимент)	5–7	42–44	105
Тыква Орешек (контроль)	6–8	45–48	105

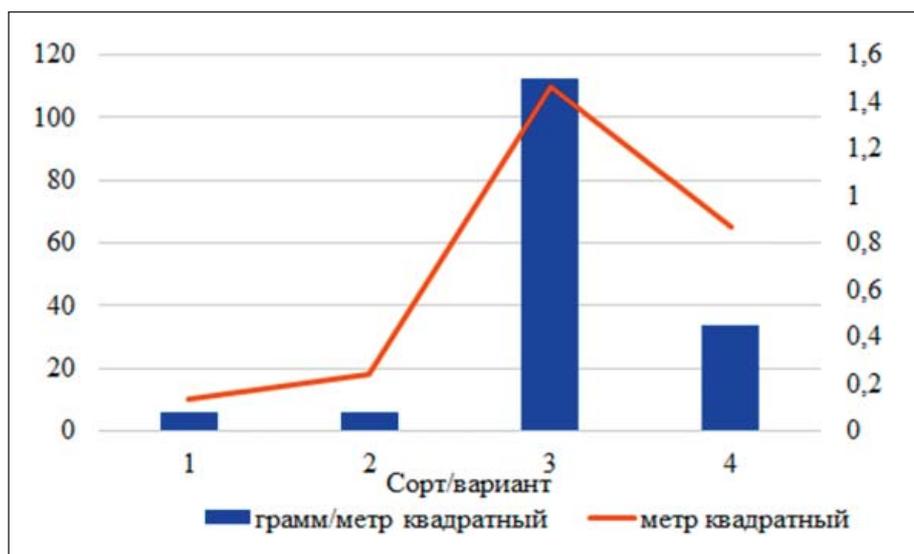


Рис. 1. Динамика ассимиляции углекислого газа и площади листьев: 1 – тыква Волжская серая (контроль), 2 – тыква Волжская серая (эксперимент), 3 – тыква Орешек (контроль), 4 – тыква Орешек (эксперимент)

*Нарастание вегетативной массы, ассимиляция углекислого газа*

Анализ относительных результатов (коэффициентов соотношения ассимиляции углекислого газа и площади листовой поверхности) указывает на то, что данный коэффициент в 1,25 раз выше у тыквы Орешек.

В процессе следующего этапа опытно-экспериментальной работы выявили, что основная часть ассимилированного углерода накапливается в вегетативных частях растений, в стеблях и листьях. Сравнительный анализ показал, что накопление углеродсодержащих соединений более интенсивно происходит в вегетативных органах тыквы Орешек. Динамика данного показателя у двух сортов тыкв колеблется в диапазоне от 44 до 86%.

В то же время на крайние фазы жизненного цикла тыквы янтарная кислота не оказывает значимого прямого влияния.

Что касается содержания углерода в плодах тыквы, то его больше накоплено в плодах тыквы Волжской серой (рис. 2). Результаты корреляционного анализа указывают на наличие положительных сильных связей (коэффициент корреляции Пирсона 0,83) между морфометрическими признаками тыквы и интенсивностью поглощения углекислого газа. Следовательно, интенсивность фотосинтеза может находиться в сильной зависимости от динамики нарастания вегетативных органов.

В Курганской области наблюдается усиление аридизации климата, что накладывает отпечаток на поглощение углекислого газа зеленой частью растений. Выявлено, что в жаркий период интенсивность поглощения углекислого газа всей поверхностью побегов у тыквы Орешек снижается, остается практически постоянно низкой на протяжении всего летнего периода у тыквы Волжской серой (рис. 3).

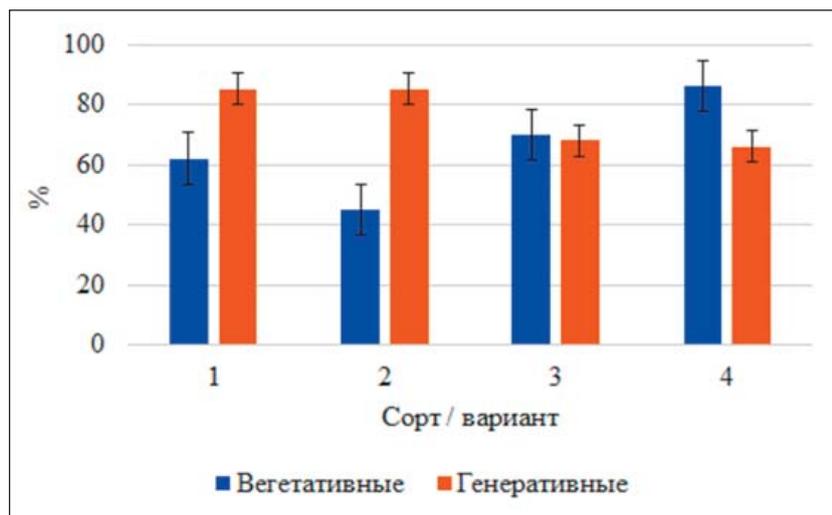


Рис. 2. Динамика содержания углерода в различных органах растений:  
1 – тыква Волжская серая (контроль), 2 – тыква Волжская серая (эксперимент),  
3 – тыква Орешек (контроль), 4 – тыква Орешек (эксперимент)

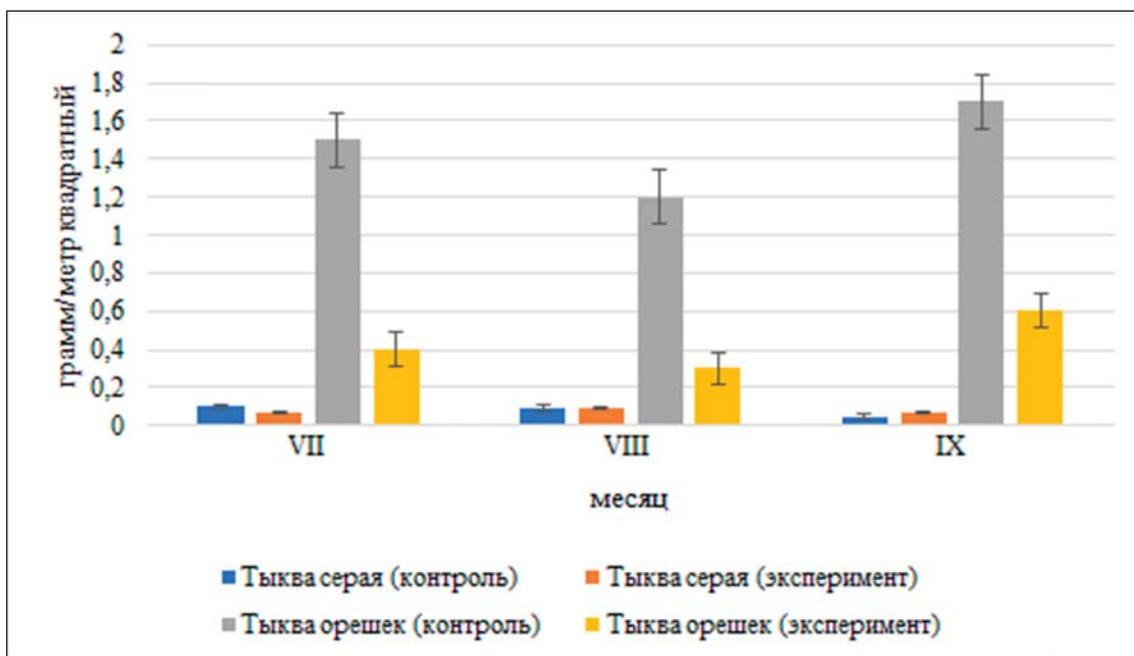


Рис. 3. Динамика ассимиляции углекислого газа растениями тыквы

В процессе опытно-экспериментальной работы возникла проблема жаркого периода, когда у тыквы замедлился процесс фотосинтеза и активизировался процесс дыхания. Данное явление является дополнительным риском поступления углекислого газа в атмосферу. Для снижения риска проявления данного эффекта решено применить орошение методом дождевания для увлажнения почвы и воздушной среды снижения ее температуры.

В начале осеннего периода при отступлении жары уже в сентябре фотосинтетическая активность растений восстановилась у тыквы сорта Орешек и даже возросла, у тыквы Волжская серая она не восстановилась полностью. Следовательно, фотосинтетический аппарат разных сортов, хотя и относящихся к одному виду, по-разному реагирует на действие экстремальных температурных условий.

При создании плантаций по типу карбоновых ферм из тыквенных растений не-

обходимо использовать несколько сортов, так как ассимиляция углекислого газа, накопления углеродсодержащих соединений в тканях растений зависит от климатических факторов, площади поверхности вегетативных органов, определяется сортовыми особенностями растений.

В технологии выращивания тыквенных растений появляется возможность повышения эффективности ассимиляции углекислого газа если:

во-первых, обрабатывать семена янтарной кислотой для регуляции роста и развития растений, повышения устойчивости к воздействию экстремально высоких температур окружающей среды;

во-вторых, для снижения риска активного выделения углекислого газа в процессе дыхания растений при высоких температурах применять дождевание почвы и воздуха.

В целом на плантациях по типу карбоновых ферм можно вести эффективную работу по стабилизации содержания углекислого газа в атмосфере, замедлению процесса глобального потепления на основе выращивания подобранных растений и эффективных технологий, повышающих адаптацию растений к изменению климата.

### Выводы

1. Потепление климата осуществляется неравномерно на поверхности планеты Земля. Наиболее интенсивно теплеет в Российской Федерации и, в частности, к востоку от Уральских гор. На территории Курганской области за последние 50 лет наблюдается повышение температуры воздуха на 1,5–2°C.

2. Основная причина потепления климата – парниковое свойство углекислого газа, основными источниками которого в атмосфере является антропогенно-техногенный фактор. Концентрация углекислого газа в атмосфере повысилась за последние 200 лет в 1,3 раза.

3. Одним из способов решения проблемы изменения климата является создание территорий, на которых увеличивается поглощение углекислого газа за счет внедрения специальных технологий и подбора культур при выращивании растений по типу карбоновых ферм.

4. Проведенное исследование осуществлялось на плантации в полевых условиях

открытого грунта. Для опытно-экспериментальной работы были выбраны растения семейства Тыквенные, группы тыква столовая, двух сортов: Волжская серая и Орешек.

5. При создании плантаций по типу карбоновых ферм из тыквенных растений необходимо использовать несколько сортов, так как они могут в разной степени реагировать на действие климатических факторов. Например, тыква сорта Орешек более динамична и может переносить высокие температуры, а тыква сорта Волжская серая более статична в данном аспекте. У тыквы сорта Орешек более интенсивно развиваются морфометрические признаки, ее растение больше поглощает углекислого газа и депонирует его в вегетативных органах. В то же время тыква сорта Волжская серая со среднеразвитыми морфометрическими признаками значительно больше, чем тыква Орешек, накапливает углеродсодержащих соединений в своих плодах.

6. На плантациях по типу карбоновых ферм можно вести эффективную работу по стабилизации содержания углекислого газа в атмосфере, замедлению процесса глобального потепления на основе выращивания подобранных растений и эффективных технологий, повышающих адаптацию растений к изменению климата.

### Список литературы

1. Бондаренко Л.В., Маслова О.В., Белкина А.В., Сухарева К.В. Глобальное изменение климата и его последствия // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2018. № 2. С. 84–93.
2. Русакова Ю. А. Климатическая политика Российской Федерации и решение проблем изменения глобального климата // Вестник МГИМО – Университета. 2015. № 1 (40). С. 66–72.
3. Снакин В.В. Глобальные изменения климата: прогнозы и реальность // Жизнь Земли. 2019. Т. 41, № 2. С. 148–164.
4. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научное издание технологий, 2022. 124 с.
5. Дочкина Д.Д. Социально-экономическое влияние развития карбоновых ферм на территории регионов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. № 4. С. 218–226.
6. Цыганов Н.А., Воронкова Н.А., Дороненко В.Д., Балабанова Н.Ф. Влияние янтарной кислоты на фотосинтетическую активность яровой мягкой пшеницы // Вестник Омского ГАУ. 2019. № 3 (35). С. 13–20.
7. Змушко А.А., Красинская Т.А. Применение янтарной кислоты в растениеводстве // Плодоводство. 2019. Т. 31. С. 288–292.
8. Хусид С.Б., Петенко А.И., Жолобова И.С. Изучение морфологических показателей различных сортов тыквы, районированных в Краснодарском крае // Научный журнал КубГАУ. 2014. № 101 (07). С. 1–11.

## ДИНАМИЧЕСКИЕ ВЗАИМОПЕРЕХОДЫ ТИПИЧНЫХ И АНОМАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАЗВИТИИ ГЕОСИСТЕМ ТИХООКЕАНСКОЙ РОССИИ

Скрыльник Г.П.

*Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Центр ландшафтно-экологических исследований, Владивосток, e-mail: skrylnik@tigdvo.ru*

**Аннотация.** На Дальнем Востоке в условиях нарастания континентальности происходят взаимные переходы типичных и аномальных (чаще критических, значительно реже кризисных и крайне редко катастрофических) процессов, при возникающем критическом «сближении» пограничных энергетических уровней. В муссонно-континентальных условиях (в степной зоне) границы между типичными и аномальными процессами подготавливаются к взаимным переходам с момента выпадения атмосферных осадков и возникновения аномальных ситуаций, а с их усилением быстро разрешаются в сжатые сроки. В результате прежние типичные процессы относительно быстро превращаются в аномальные. В условиях же континентального муссона в лесных экосистемах такие взаимные переходы возникают в ходе большего возрастания атмосферных осадков и, следовательно, на более высоких энергетических уровнях. Здесь они протекают на первых этапах плавного и с «временным» запаздыванием за счет сдерживания их лесной растительностью как своеобразного буфера, а далее продолжают с возрастающей скоростью по мере увеличения поступления атмосферной влаги. Можно с уверенностью заключить, что взаимные переходы типичных и аномальных процессов в развитии геосистем Дальнего Востока России фактически обоснованы.

**Ключевые слова:** взаимопереходы, процессы, типичные, аномальные, Тихоокеанская Россия

## DYNAMIC TRANSITIONS OF TYPICAL AND ANOMAL PROCESSES IN THE DEVELOPMENT OF GEOSYSTEMS IN PACIFIC RUSSIA

Skrylnik G.P.

*Pacific Institute of Geography Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Center for Landscape and Ecological Research, Vladivostok, e-mail: skrylnik@tigdvo.ru*

**Annotation.** In the Far East, under conditions of increasing continentality, mutual transitions of typical and anomalous (usually critical, much less often crisis and extremely rarely catastrophic) processes occur, with a critical “convergence” of border energy levels occurring. In monsoon-continental conditions (in the steppe zone), the boundaries between typical and anomalous processes are prepared for mutual transitions from the moment of precipitation and the occurrence of anomalous situations, and with their intensification they are quickly resolved in a short time. As a result, former typical processes relatively quickly turn into anomalous ones. Under the conditions of the continental monsoon in forest ecosystems, such mutual transitions occur during a greater increase in atmospheric precipitation and, consequently, at higher energy levels. Here they proceed smoothly in the first stages and with a “temporary” delay due to their containment by forest vegetation as a kind of buffer, and then continue at an increasing speed as the supply of atmospheric moisture increases. We can confidently conclude that the mutual transitions of typical and anomalous processes in the development of geosystems of the Russian Far East are actually justified.

**Keywords:** mutual transitions, processes, typical, anomalous, Pacific Russia

Среди многочисленных разработок автора, касающихся природы типичных и аномальных процессов и явлений, по своему значению в прогнозном плане выделяются аспекты динамических взаимопереходов типичных и аномальных процессов в развитии геосистем Тихоокеанской России.

Цель исследования – проследить в условиях нарастающей континентальности и сжиманию области океаничности «сближение» пограничных энергетических уровней типичных и аномальных (чаще критических, значительно реже кризисных и крайне редко катастрофических) процессов, за счет отмечающегося истоньшения соседствующей между ними пограничной (подвижной структурной) области. При этом выяс-

нить условия возможных взаимопереходов типичных и аномальных процессов, когда ранее типичные процессы могут стать для наблюдаемого района аномальными, а бывшие аномальные могут трансформироваться в типичные.

Для детализации этого и было проведено настоящее тематическое исследование.

### Материалы и методы исследования

Были использованы в основном материалы исследований автора [1; 2], некоторые отечественные источники [3; 4; 5 с. 25] и иностранные публикации [6]. Из методов применены сравнительно-географический, геофизический, информационный (К.К. Марков и др., 1973 г.).

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

*Предпосылки авторского анализа*

Среди общих характерных свойств в аномальном развитии геосистем (ГС), в рамках региональных природных зон (от Севера до Юга), прослеживается расширяющийся спектр и повышение интенсивности аномальных деструктивных и конструктивных контрастов, с концентрацией их крайних состояний в пределах островных дуг и мегабережий [2].

Повышение естественной континентальности климата вызывает возрастание в рельефообразовании аномальных процессов и катастроф [1].

В ходе изменения ГС выделяются динамические стадии развития (рис. 1).

Пороговые ситуации взаимопереходов различных процессов («типичные – критические», «критические – кризисные») или однонаправленных переходов («кризисные – катастрофические») отождествляются с различными динамичными состояниями геосистем [2].

Эволюция типичных процессов осложняется «всплесками» критичности, кризис-

ности и далее «взрывами» катастрофизма. В которой выявляется снижение количества смен состояний (при господстве равновесных), усиливающих естественную устойчивость геосистем [1], увеличение которых в прибрежных участках стимулирует возрастание числа и масштабов природных аномалий, приводящих к уменьшению общей устойчивости геосистем [7].

*Тематические  
региональные результаты*

Анализируя отдельные разрозненные признаки динамики ГС на дальнем Востоке, автор пришел к выводу, что среди них просматриваются на первый взгляд плохо объяснимые ситуации, когда якобы без видимых причин границы между типичными и аномальными процессами сближаются, а далее проходят взаимопереходы между этими процессами. Последующие разработки продвинулись к реальным информативным показателям.

Так, аналитическое пространственно-временное сравнение морфологических и энергетических ситуаций показало, что протекание типичных и аномальных процессов дифференцировано в своей динамике.

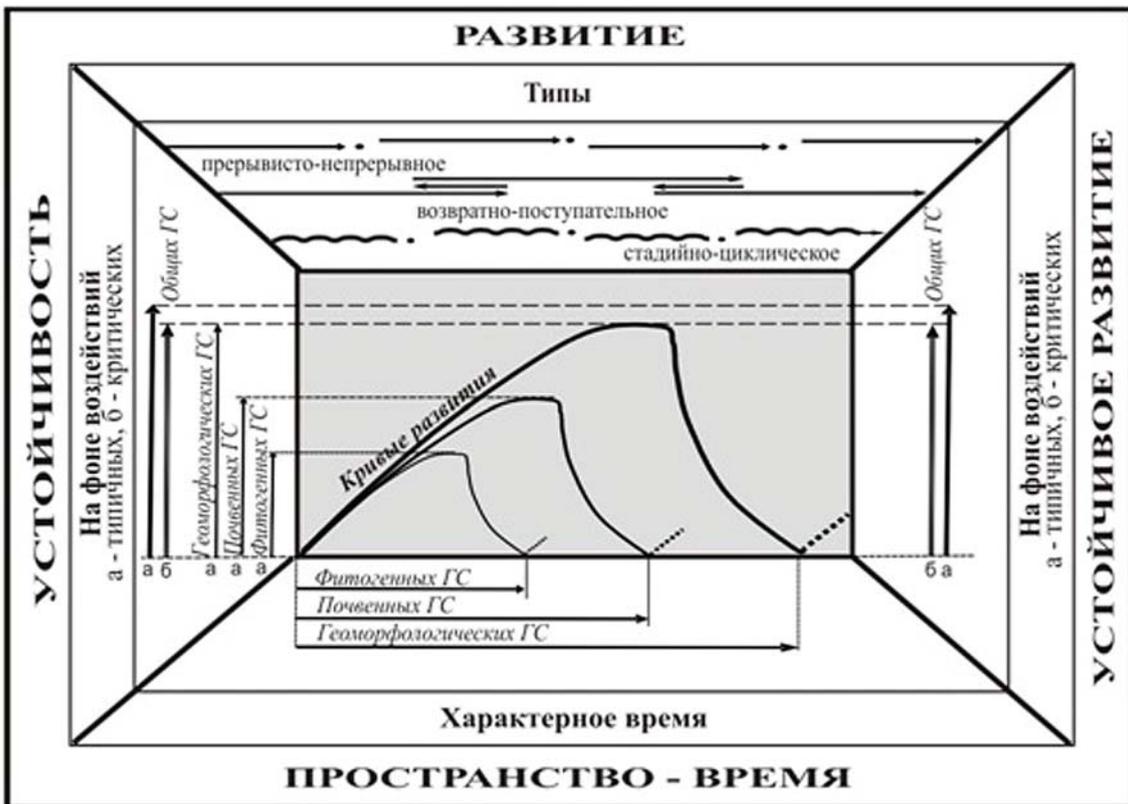


Рис. 1. Динамические стадии развития геосистем  
Источник: составлено автором по [2]

Оказалось, что колебания их энергетических уровней весьма показательны: в континентальных обстановках они мало динамичны в пространстве, а в прибрежных районах (особенно показательно для Юга Дальнего Востока) верхние граничные уровни типичных процессов повышаются, а нижние уровни аномальных снижаются. В последнем случае уровенная грань (подвижная область), соседствующая между типичными и аномальными процессами, постепенно утончается и затем уменьшается до критических размеров. В результате этого в ряде случаев типичные процессы в этих районах переходят в разряд аномальных, а в других случаях аномальные – в типичные.

Фактическое подтверждение вышеуказанного вывода для Севера и Юга Дальнего Востока может быть проиллюстрировано тематическими региональными примерами. Для лучшей тематической наглядности Север ограничим Чукоткой с островами Врангеля и Геральда, а Юг – Приморьем.

Чукотка с островами. На этой территории хорошо представлены следующие типы тундр: арктическая тундра (задернение разреженно-ячеистое); субарктическая тундра, или типичная средняя тундра (задернение на горно-тундровых участках слабое и разреженное, а на собственно тундровых – практически сплошное); лесотундра, или южная тундра (задернение на большей части сплошное) (Север Дальнего Востока, 1970 г.).

В *арктической тундре* выделяются процессы физического выветривания, мерзлотные массового смещения приповерхностного горизонта и морозобойного трещинообразования. Мелко-крупнощепнистая поверхность способствует высокой устойчивости геосистем (рис. 2). Типичные процессы при относительно средней энергонапряженности устойчивы во времени и соседствуют с аномальными. При этом они крайне редко подвергаются взаимопереходам, так как аномальные ситуации отменяются нечасто.

В *субарктической, или типичной средней тундре*, господствуют процессы термокарста, массового смещения материала (дефлюкции и солифлюкции), морозобойного трещинообразования. Крайне большая здесь степень задернения способствует относительно высокой устойчивости геосистем (рис. 3).

Плотное сочетание типичных и аномальных процессов – обычное явление. Взаимопереходы между указанными процессами контролируются колеблющейся интенсивностью термокарста. При этом пространственное положение типичных и аномальных процессов находится по соседству.

Медленное прогревание в спокойной летней обстановке почвогрунтов приводит к медленной трансформации приповерхностного горизонта. При этом не происходит заметной его деформации и не провоцируется появление различных аномальных процессов.



А



Б

Рис. 2. Тундровые геосистемы: А – арктическая тундра. Природный заповедник «Остров Врангеля», южные участки Тундры Академии Наук; Б – типичная тундра. Бассейн правобережья среднего течения р. Анадырь  
Фото автора – июль 1972 г.



*Рис. 3. На переднем плане – трещинно-жильные полигоны; на заднем плане термокарстовые комплексы. Левобережье р. Анадырь [1]  
Автор: Е. Басов, 2018 г.*

Во время выпадения же атмосферных осадков, проникновения их по морозобойным трещинам, рассекающим на всю глубину деятельный слой сверху-вниз, с одно-временным «дождевым» переносом солнечного тепла к верхней границе вечной мерзлоты, возникают просадки с резкими деформациями поверхности и появление поверхностных отрицательных форм. Здесь происходит уже быстрый переход былых типичных процессов в аномальные. Особенная интенсификация последних бывает в редкие периоды наступления антициклональной жаркой погоды, особенно в ходе прихода глубоких циклонов, приносящих обильные атмосферные осадки.

В *лесотундре* интенсивность экзогенных процессов относительно заметно снижена, и аномальные процессы характери-

зуются промежуточными («межтундровыми») значениями.

*Приморье.* Край тайфунов, цунами и морских штормов. Для территории характерны контрасты и резкие колебания континентальности и муссонности; варьирование от различного по площади травянистого задернения в степной зоне (рис. 4) до полной залесенности в зонах тайги и смешанных лесов (рис. 5); различные по степени и суммарного объема выпадающих атмосферных осадков, по-разному воздействующих на дневную поверхность указанной территории; высокие территориальные различия в интенсивности и наборе экзогенных процессов; редкие или частые пространственные взаимопереходы между по-разному энергетически напряженными типичными и аномальными процессами.



*Рис. 4. Степные просторы в Приморском крае  
Автор: Юрий Сомов; источник: РИА Новости*



Рис. 5. Смешанные леса Приморья: тисовые рощи (в нижней части) в пределах смешанных лесов. Сихотэ-Алиньский заповедник. Автор фотографии неизвестен

Для внутриконтинентальных участков степной зоны (в районах – Спасский, Дальнереченский, Арсеньевский, Ханкайский и др.) свойственны климатические условия хорошо выраженной взаимочередующейся континентальности и муссонности. Эти сезонные условия примерно равны (осень и зима против весны и лета). Типичные и аномальные процессы заметно сближаются.

Участие влаги от атмосферных осадков в протекании типичных и аномальных процессов в сухой период весьма ощутимо, особенно показательно по территории из-за различий в задернении и (или) покрытии травянистой растительностью.

При поступлении влаги с дождями определенной интенсивности (0,1 мм/ч – 2,5 мм/сут) в степной зоне еще господствуют типичные процессы. Среди последних преобладают десерпция и в меньшей мере дефлюкция, появляются первые признаки плоскостного смыва мелкозема на «оголенных» и на плохо задернованных участках. При возрастании объема атмосферных осадков (до 0,3 мм/ч и более 6–7 мм/сут) типичные процессы быстро, в сжатые сроки, переходят уже в аномальные и критические. С ними связан не только плоскостной смыв мелкозема, но и начало линейного размыва поверхности и появление первых признаков медленной солифлюкции. В дальнейшем при направленно возрастающем количестве

атмосферных осадков типичные процессы переходят в кризисные, а затем и в катастрофические. Таким образом, возрастание скорости протекания указанных процессов (от типичных к аномальным) протекает в соответствии с увеличением суммарного объема атмосферных осадков. В это время взаимопереходы между указанными процессами протекают относительно быстро, в сжатые временные отрезки. В отдельных местах, где эти процессы практически «соседствуют», взаимопереходы отмечают скачкообразно.

Для прибрежных районов Приморья (Тернейский, Владивостокский, Хасанский, Уссурийский и другие районы) типичны условия муссонности и подчиненной континентальности. Для этой территории (таежные, смешанные и лиственные леса) обычно сплошное задернение и залесенность (рис. 5). Здесь приход влаги с атмосферными дождями различной интенсивности вызывает дифференцированно по времени активизацию взаимопереходов процессов. Так, при суммарном приходе влаги от 0,1 до 0,2 мм/ч она не достигает поверхности почвогрунтов и не увлажняет их. Эта влага перехватывается лесной растительностью и расходуется на ее смачивание. В этих случаях в почвогрунтах отмечается лишь десерпция. В дальнейшем, при увеличении прихода влаги до 0,3 мм/ч, «оживляется» дефлюкция, но еще без морфогенетических

явных деформаций. Правда, воздействие приходящей влаги на скорости изменения и величины интенсивности взаимопереходов типичных и аномальных процессов сравнительно ощутимо возрастает только на «внутренних полянах».

При общем приходе влаги с дождями до 0,3–0,4 мм/ч (до 7–10 мм/сут) в лесных геосистемах продолжают господствовать типичные процессы, но уже средней интенсивности (дефлюкция и возникающая медленная солифлюкция). Дождевая влага начинает достигать поверхности почвогрунтов. При дальнейшем возрастании общего объема атмосферных осадков более 0,6–0,7 мм/ч (15–17 мм/сут) типичные процессы интенсифицируются и плавно переходят в аномальные, составляющие (критические, кризисные, катастрофические), которые в своей динамике закономерно сменяют друг друга:

*критические процессы* – на первом этапе скорости медленной солифлюкции заметно возрастают и появляются признаки боковой и глубинной речной эрозии. При наличии разнотипных трещин протекают отдельные линейные размывы и возникают первые водороины;

*кризисные процессы* – в дальнейшем размывы и водороины численно возрастают, возникают ощутимые эффекты боковой и глубинной эрозии, когда происходит начальное расширение днищ речных долин, появление отдельных глубоких эрозионных врезов и возникновение зарождающихся оврагов;

*катастрофические процессы* – на пике атмосферных осадков очень активно протекают процессы боковой и глубинной речной эрозии, а заодно формируются соответствующие морфогенетические образования (максимально расширенные днища речных долин, глубоко врезанные речные русла).

Таким образом, взаимопереходы между типичными и аномальными процессами в лесных экосистемах протекают вначале относительно плавно («растянуты» во времени), что связано с эффектом буфера сдерживания их лесной растительностью, а затем продолжают с нарастающей скоростью (становятся заметно «сжатыми») по мере увеличения прихода атмосферной влаги.

Отмечается, что обеспеченность теплом зоны смешанных лесов больше, чем хвойных.

В ряде случаев (например, при проходе тайфуна «Ханун» 25 августа 2023 г. суммарные осадки достигали 100–150 мм/10 ч)

возникают аномальные процессы как катастрофические (для Приморья это типично во многие периоды). Они вызывают полномасштабные разрушения на больших площадях степных геосистем и разрушения лесных геосистем на относительно «открытых участках» (в частности, на окраинных участках лесных полей и опушек). В этом случае на их месте появляются «голые пятна» без задернения и, соответственно, «исчезновение» лесной растительности (формирование местности типа «лунных» ландшафтов). Это происходит особенно сильно из-за площадного расширения зон медленной солифлюкции (до быстрой), а также плоскостной и глубинной речной эрозии, с уничтожением на первых участках «степного» задернения, а в лесных районах древесной и кустарниковой растительности.

Особенно схожие аномальные процессы и их последствия происходят в течение длительных дождливых периодов. Последние, например, наблюдались в Приморье, начиная со второй половины августа и кончая серединой сентября 2023 г. При этом выпадение повышенных по объему атмосферных осадков (до 50–70 мм/сут) проходило в чередующемся «разорванном» временном темпе (с промежутками до 1–2 дней без осадков). Одновременно интенсивность аномальных морфогенетических процессов направленно во времени усиливается (с активизацией плоскостного смыва, муссонной солифлюкции, глубинной и боковой эрозии) в форме горизонтального и глубокого вертикального расчленения, с формированием многочисленных водороин и молодых оврагов, расширения и углубления речных долин. В результате в это время на юге Приморья формировался новый морфогенетический облик, отличный от предыдущего. В этом случае резкие морфогенетические трансформации, вызванные атмосферными осадками, были связаны не только с большим объемом, но и с «расширенной» непрерывностью последних.

Следует особо отметить, что указанные показатели «влажностной» напряженности в развитии геосистем (предметно автором прослеженные) являются ориентировочными. Поэтому допускается, что в обычных обстановках приведенные показатели (выборки из ежедневных наблюдений на м/ст – Астраханка, Полтавка, Партизанск, Преображение – соотнесенные по времени – июль-август 2023 г.) с полевыми замерами автора могут отличаться от указанных – иногда снижаться, но чаще возрастать.

### Заключение

На Дальнем Востоке в условиях нарастающей континентальности происходит направленное «сближение» пограничных энергетических уровней типичных и аномальных (чаще критических, значительно реже кризисных и крайне редко катастрофических) процессов, за счет отмечающегося истончения соседствующей между ними пограничной области. В результате выполняются условия для возможных взаимопереходов типичных и аномальных процессов, когда ранее типичные процессы становятся для наблюдаемого района аномальными, а реже бывшие аномальные трансформируются в типичные.

В муссонно-континентальных обстановках (в степной зоне) типичные процессы уже с началом выпадения атмосферных осадков (до 0,3 мм/ч) подготавливаются к быстрому переходу (в сжатых временных рамках) к аномальным. В то же время, как только влажностные условия возвратно-поступательно возвращаются к былому состоянию, аномальные процессы замещаются типичными, но уже с более сложной структурой.

В континентально-муссонных обстановках (в лесных экосистемах) те же взаимопереходы на первых этапах протекают плавно (из-за их сдерживания лесной растительностью как своеобразным буфером),

а на более поздних стадиях (с увеличением осадков до 0,6–0,7 мм/ч) быстро и контрастно (до появления кризисов и катастроф).

Все выводы показательны для Дальнего Востока как наиболее энергонапряженной области.

### Список литературы

1. Качур А.Н., Скрьльник Г.П. Континентальность и океаничность как показатели современного экологического состояния российского Дальнего Востока // География и природные ресурсы. 2022. № 3. С. 40–45.
2. Скрьльник Г.П. Аномальное триединство (критичность – кризисность – катастрофичность) в развитии геосистем Тихоокеанской России // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2023. Т. 9 (19), № 2. С. 273–290.
3. Шварев С.В., Голосов В.Н., Лебедева Е.В., Лихачева Э.А., Харченко С.В. Актуальная геоморфология: оценка природных рисков и системное природно-антропогенное взаимодействие // Вестник Российской академии наук. 2022. Т. 92, № 6. С. 593–601. DOI: 10.31857/S086958732206010X.
4. Баженова О.И. Динамические фазы циклов экзогенного рельефообразования // Теория и методы современной геоморфологии: материалы XXXV Пленума Геоморфологической комиссии РАН (Симферополь, 3–8 октября 2016 г.). Таврическая академия. Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Т. 1. Симферополь, 2016. С. 3–7.
5. Коломыц Э.Г. Избранные очерки географической экологии: Часть 1. Базовый ландшафтно-экологический анализ // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27, № 1. С. 15–129. DOI: 10.24411/2073-1035-2018-10002.
6. Jorgenson M.T., Romanovsky V., Harden J., Shur Y., O'Donnell J., Schuur E.A., Kanevskiy M., Marchenko S. Resilience and vulnerability of permafrost to climate change // Can. J. For. Res. 2010. Is. 40. P. 1219–1236.
7. Бак П., Чен К. Самоорганизованная критичность. М.: Наука, 1972. 423 с.

УДК 908(571.54)  
DOI 10.17513/use.38233

## ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ОХОТНИЧЬЕГО ТУРИЗМА НА СЕВЕРЕ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ

Урбанова Ч.Б., Бабиков В.А., Маладаева О.К.

ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова», Улан-Удэ,  
e-mail: [chimita76@gmail.com](mailto:chimita76@gmail.com), [mien\\_bsu@mail.ru](mailto:mien_bsu@mail.ru), [maladaeva@bk.ru](mailto:maladaeva@bk.ru)

**Аннотация.** Авторами рассматриваются возможности развития одного из направлений сельского туризма – охотничьего на примере Северобайкальского района Республики Бурятия. Исследуются особенности становления данного туристского направления как перспективного для экономического развития северных территорий Республики Бурятия. Проведенное исследование показало, что в северных районах Околобайкалья, в частности на территории Северобайкальского района, сохраняются в достаточно большом количестве промысловые виды таежной фауны. Цель – выявить основные возможности развития охотничьего туризма на севере Бурятии, разработать проект бизнес-плана «Трофейная охота. Охота на изюбря на реву». Методика исследования основывается на применении общетеоретических и частных методов, таких как описание природных условий территории и ее географического положения, статистический и информационный анализ, прогноз, геоэкологический метод. Проведенное исследование показало, что на сегодняшний день на севере Республики Бурятия имеется достаточно высокий потенциал для развития разных направлений охотничьего туризма, в том числе таких направлений, как промысловый, ружейный, спортивный, с ловчими животными, фотоохота. Авторами выявлены основные факторы, влияющие на развитие охотничьего туризма в пределах северных районов Республики Бурятия, обоснованы основные направления его развития с учетом местных особенностей и уровня развития туристской индустрии и инфраструктуры.

**Ключевые слова:** туристская деятельность, сельский туризм, охотничий туризм, промысловые ресурсы, северные территории, устойчивое развитие

*Работа выполнена в рамках гранта Бурятского государственного университета имени Д. Банзарова 23-02-0502 «Географические особенности Республики Бурятия»: от систематизации сведений и материалов до разработки учебно-методического комплекта (УМК).*

## OPPORTUNITIES FOR DEVELOPING HUNTING TOURISM IN THE NORTH OF THE REPUBLIC OF BURYATIA

Urbanova Ch.B., Babikov V.A., Maladaeva O.K.

*Buryat State University named after Dorzhi Banzarov, Ulan-Ude,*  
e-mail: [chimita76@gmail.com](mailto:chimita76@gmail.com), [mien\\_bsu@mail.ru](mailto:mien_bsu@mail.ru), [maladaeva@bk.ru](mailto:maladaeva@bk.ru)

**Annotation.** The article discusses the possibilities of developing one of the areas of rural tourism – hunting, using the example of the Severobaikalsky region of the Republic of Buryatia. The features of the formation of this tourist destination as promising for the economic development of the northern territories of our republic are explored. The study showed that in the northern regions of the Baikal region, in particular in the Severobaikalsky region, commercial species of taiga fauna are preserved in quite large numbers. To identify the main opportunities for the development of hunting tourism on the Buryatia server, to develop a draft business plan “Trophy Hunting. Hunting for wapiti on the roar.” The research methodology is based on the use of general theoretical and specific methods: system analysis, comparison and synthesis methods, and business planning. The study showed that today in the north of the Republic of Buryatia there is a high potential for the development of various areas of hunting tourism, including fishing, gun, sports, with hunting animals, and photo hunting. The main factors influencing the development of hunting tourism within the northern regions of the Republic of Buryatia, the main directions of its development, taking into account local characteristics and the level of development of the tourism industry, have been identified.

**Keywords:** tourism activities, rural tourism, hunting tourism, commercial resources, northern territories, sustainable development

*The work was carried out within the framework of the grant of the Buryat State University named after D. Banzarov 23-02-0502 “Geographical features of the Republic of Buryatia”: from systematization of information and materials to the development of an educational and methodological kit.*

Для территории Северобайкальского района Республики Бурятия туристская деятельность является новым, но довольно перспективным направлением социально-экономического развития. Тем более что для этого имеются все условия и предпосылки. Район обладает большим бальнеологическим потенциалом в виде термаль-

ных источников, разнообразным рельефом и природными биологическими ресурсами. В связи с этим на территории района имеется возможность для развития различных видов туристско-рекреационной деятельности, начиная с познавательного, экологического и заканчивая научным, лечебно-оздоровительным и охотничьим [1, с. 4].

На территории Северобайкальского района расположено множество уникальных природных достопримечательностей, имеющих свою историю и специализацию. Это прежде всего минеральный источник Дзелинда (Джелинда). Его гидротермальные воды по своему химическому составу и лечебному эффекту не уступают водам лучших курортов России. В состав минеральных вод входят фтор, азот, щелочи, кремнекислота и радон. Не менее известно и оз. Фролиха, расположенное на достаточном удалении от населенных пунктов и дорог, среди высоких гор и тайги. У его восточного берега расположилась Медвежья гора, высота которой достигает 1200 м над уровнем моря. Недалеко от районного центра г. Северобайкальска раскинулось оз. Ярки. Его побережье характеризуется своеобразными водными экосистемами, которые в теплое время года известны своей теплой водой и песчаными пляжами. Все эти факты делают Ярки излюбленным местом отдыха в Северобайкальском районе. Гидрография района представлена р. Верхняя Ангара и ее притоками, впадающими в оз. Байкал в его северной акватории. В месте впадения Верхней Ангары в озеро формируется Верхне-Ангарский залив – популярное место отдыха на воде, используемое также для катания на байдарках и катамаранах. На его поверхности иногда можно увидеть своеобразные плавающие острова, представляющие собой переплетение водной растительности. Такие естественные «плоты» облюбовали многие виды водоплавающих птиц (утки, чайки, лебеди и другие), строящих на них свои гнезда. В пределах Северобайкальского района расположен старейший заповедник России и мира – Баргузинский, имеющий государственное и международное значение.

Таким образом, Северобайкальский район представляет собой территорию с достаточно высоким природно-ресурсным потенциалом для целей развития туристско-рекреационной деятельности, в том числе охотничьего туризма [2, с. 16].

Цель исследования – выявить основные возможности развития охотничьего туризма на севере Бурятии, разработать проект бизнес-плана «Трофейная охота. Охота на изюбря на реву».

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

Методика исследования основывается на применении общетеоретических и частных методов, таких как описание природ-

ных условий территории и ее географического положения, статистический и информационный анализ, прогноз, геоэкологический метод.

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

Из всех видов туристических видов занятий именно охотничий туризм является наиболее дорогостоящим, поскольку предназначен для обеспечения всех материальных потребностей туристов, пребывающих в том или ином природном ландшафте, пригодном в том числе для организации охоты на промысловых и трофейных животных. Для организации охотничьих туров в первую очередь необходимо наличие соответствующей государственной лицензии, дающей право на осуществление охоты с трофеями и добычи рыбы. Для эффективного функционирования охотничьего туризма прежде всего необходимо обеспечение безопасности, которая осуществляется в том числе при взаимодействии с опытным инструктором – егерем [3, с. 59]. Охотничий туризм относится к так называемой элитарной разновидности туризма, поскольку реализация его программы требует достаточно высоких финансовых и материальных затрат. Понятие «охота» включает в себя следующие элементы: 1) выслеживание и тропление определенных видов промысловых животных; 2) добывание и получение конечной продукции. Основным объектом охоты являются пушные виды животных. Конечным продуктом охотничьей деятельности является сырье, предназначенное для фармацевтической, меховой и пищевой отраслей промышленности. Благодаря охоте развиваются такие личностные качества человека, как умение вести наблюдение, умение маскироваться под условия покровительственной окраски того или иного природного комплекса, выносливость при осуществлении определенной физической нагрузки. В целом пребывание на открытом воздухе способствует укреплению здоровья и внутренних сил организма. Помимо этого каждый охотник – это, конечно, натуралист, ведущий подробное наблюдение за обычной жизнью лесных обитателей, подмечая их биологические и экологические особенности.

Испокон веков представители эвенкийских родов орочен (оленных) и ламученов (рыбаков), проживающих на севере Бурятии, ценили среди своих представителей такие охотничьи качества, как тропление

по следу, или умение распознать любого зверя по его следу, прицельно-меткая стрельба из любого оружия, а также знание экологии и повадок любого таежного жителя.

В целом охотничий туризм можно рассматривать как разновидность аграрного или сельского туризма, поскольку формирующие его объекты так или иначе расположены в сельской местности и связаны с местными жителями [4, с. 5].

Охота классифицируется по следующим показателям:

1. По целям: а) промысловая охота – один из источников существования людей, средство получения определенного дохода; б) спортивная охота или охотничий туризм – способ развлечения, активного отдыха. На охоту такого вида деньги тратят сами охотники.

2. По средствам, используемым при охоте: а) ружейная охота; б) охота с ловчими животными; в) охота при помощи ядов, снотворных веществ; г) охота с применением самозарядных орудий [5, с. 68].

Промысловая фауна северных регионов Бурятии, в том числе Северобайкальского

района, представлена разнообразными видами промысловых животных, в том числе кабаргой, изюбрем, рысью, косулей, белкой и сободем (рис. 1, 2).

Чистые горные реки Северобайкальского района населяет большое количество промысловых видов рыб. Это прежде всего, как называют ее местные жители, «царь-рыба» таймень, белый и черный хариус, ленок, баунтовский весенне-нерестующий сиг или ряпушка. Все те же виды рыб, обитающие в других регионах страны, в теплых водоемах, заросших тиной и водорослями, располагают другой кормовой базой, имеют совершенно другую, отличную от северобайкальской, структуру мяса, жира и другой вкус. Также особой популярностью и среди туристов, и среди местных жителей пользуется любительский подледный лов рыбы. Обычно начинается в конце зимы, когда Байкал полностью покрывается мощным слоем льда, и заканчивается в начале мая. Любители подледного лова со всех сибирских регионов и Дальнего Востока ежегодно в зимнее время собираются сюда на традиционную «Байкальскую рыбалку».

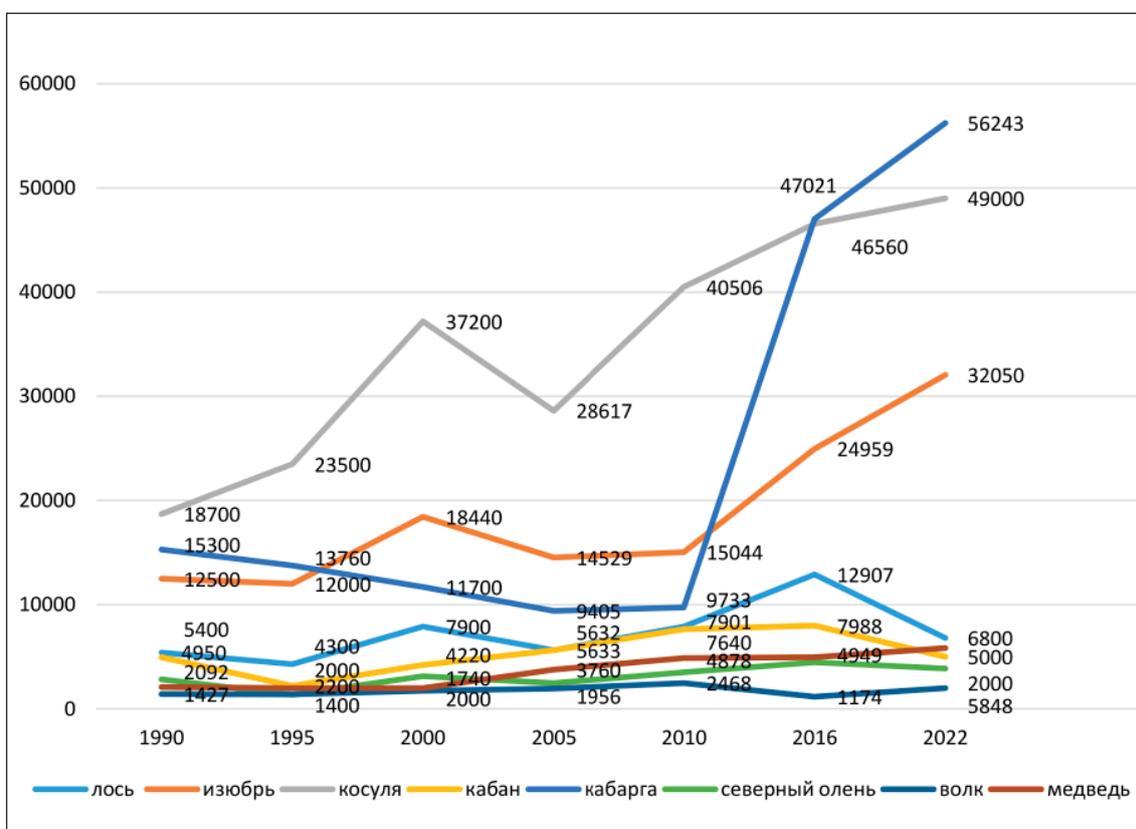


Рис. 1. Динамика численности основных видов промысловых животных Республики Бурятия с 1990 по 2022 г., кол-во особей [6, с. 9]

# ЛИМИТ ДОБЫЧИ ПРОМЫСЛОВЫХ ОХОТНИЧЬИХ РЕСУРСОВ В БУРЯТИИ С 1 АВГУСТА 2015 ПО 1 АВГУСТА 2016 Г.

Фот. Алексей Бурдучинский и Урмаспирэе Раганаева, Бурятия © В. Купчинский



Рис. 2. Лимит добычи промысловых охотничьих ресурсов Бурятии с августа 2015 г. по август 2016 г.

Фотоохота представляет собой особый вид охоты, где главным «оружием» выступает любая фототехника, предназначенная для получения качественных и уникальных по своему содержанию фотоснимков животных и птиц в их естественных условиях. Фотоохота – это кропотливый и достаточно затратный процесс. Качественные снимки могут получиться только у опытного охотника, знающего условия обитания животных в их природном окружении. Подготовка к фотоохоте не может быть случайной и требует детальной подготовки для того, чтобы животное конкретного вида пришло в необходимое место для получения удачного кадра. Основной проблемой фотоохоты является определенное расстояние между фотоохотником и объектом для фотоснимка, оно должно быть намного меньше, чем при выстреле из ружья; кроме того, есть определенные требования к освещенности и направлению света. Главным достоинством фотоохоты является ее всесезонность и отсутствие необходимости приобретать охотничью лицензию [7, с. 1; 8, с. 23]. Звери не любят позировать. Часто удается лишь на мгновение увидеть зверя. Обладая превосходным слухом, зрением и чутьем, животные скрываются от самого страшного врага – человека. Опытные таежники говорят, что зверя легче добыть, чем сфотографировать. Наибольшая суточная активность диких животных наблюдается в ранние утренние часы и поздно вечером. Снимки выполняются в залесенной местности, где растительность мешает видеть зверя. Для получения нужных кадров необходимо:

1. Знание биологии снимаемого объекта – места отдыха, время кормления, миграционные тропы, посещение солонцов.
2. Наличие длиннофокусной оптики.
3. Предварительная подготовка – устройство скрадов, лабазов, солонцов, галечников.
4. Выработанное терпение просиживать в скрадах многие часы.

Большой интерес и огромное удовольствие для фотоанималиста – наблюдение за животным миром при естественном поведении в природе, когда звери и птицы не чувствуют присутствия человека и ведут себя непринужденно, свободно, раскованно. При съемке животных в естественных условиях важны условные рефлексы и чувства животных, которые даны человеку.

В качестве примера проекта развития охотничьего туризма авторами был разработан бизнес-план «Трофейная охота. Охо-

та на изюбря на реву». Туристу-охотнику, находящемуся на территории соответствующей базы, будет предложен тур с одноименным названием «Трофейная охота. Охота на изюбря на реву». Продолжительность тура от 9 дней, из них 8 дней охоты, в результате туристы могут увидеть все уникальные природные достопримечательности.

Проект бизнес-плана предназначен для организации туристической базы выходного дня, для туристов также будут организованы экскурсионные программы. Среди основных задач проекта можно выделить строительство и обустройство базы, приобретение необходимого оборудования и инвентаря, открытие комплекса. В качестве целевой группы выступают жители г. Улан-Удэ и Северобайкальского района, а также граждане РФ, которых можно разделить на следующие категории: по уровню достатка: а) с высоким уровнем доходов; по возрасту: а) взрослые; б) молодежь; по уровню требований к услугам: а) предпочитающие отдельные виды услуг; б) предпочитающие комплексные услуги [8].

В перечень предполагаемых услуг будут включены следующие: 1) предоставление оборудованного дома или юрты для проживания; трехразовое питание, предоставление туристского инвентаря, в том числе для охоты; баня, прокат квадроциклов или лошадей; услуги бара; услуги магазина сувениров; транспортное обслуживание; услуги проводника и опытных охотников. Помимо этого в стоимость тура входит помощь в оформлении ветеринарного сертификата, лицензия на охотничий трофей и услуги квалифицированного егеря (организация и близкий подход к промысловому животному, упаковка трофея).

Организационный раздел тура «Трофейная охота. Охота на изюбря на реву» включает в себя услуги, которые получают туристы на охотничьей базе. Кроме того, необходимо определить конкурентные преимущества тура, перечень дополнительных услуг для более интересного проведения досуга. Не менее важной является работа по продвижению соответствующего туристского продукта и реклама привлекательности территории Северобайкальского района через интернет и социальные сети. Охота на изюбря проходит в следующие периоды года: на все половозрастные группы с 1 октября по 31 декабря; на взрослых самцов с 1 сентября по 30 сентября; на самцов с неокрепшими рогами с 1 июня по 15 июля.

Финансовый раздел тура формируется из следующих статей расходов: трансфер с аэропорта г. Улан-Удэ до места охоты (около 3 тыс. руб. с человека), проживание на охотничьей базе (около 4 тыс. руб. с человека без учета дополнительных услуг); услуги егеря (около 1 тыс. руб. с человека); аренда катера и лошадей (1,5 тыс. руб. с человека); организация питания (1,5 тыс. руб. с человека в сутки); получение ветеринарного сертификата (1 тыс. руб. с охотника); подготовка к транспортировке трофеев до места жительства охотника (2 тыс. руб. с человека); непосредственно сама охота на изюбря (10 тыс. руб. с охотника). В стоимость тура не входят страховка, разрешение на вывоз трофеев, разрешение на оружие, виза для иностранных охотников. В целом в финансовый план организаторов тура должны входить: план прибыли и убытков, анализ экономической эффективности, постоянные расходы и амортизация материально-технической базы, налоги и сборы, определение чистой прибыли.

Программа пребывания включает (по дням):

1-й день: 11:00–12:00 Прибытие в г. Северобайкальск. 12:00–13:00 Встреча в аэропорту или на железнодорожном вокзале. 13:00–15:00 Заброска через оз. Байкал быстроходным катером (~2 ч) на охотничью базу, находящуюся в устье реки Томпуда, впадающей в оз. Байкал. 15:00–16:00 Размещение. 16:00–18:00 Баня. 18:00–19:00 Ужин. 19:00–22:00 Свободное время. 22:00 Ночевка на базе.

2–7-й дни: с 07:00 Охота на изюбря проводится на расстоянии от 2 до 10 км от базы, в сопровождении опытных проводников, имеющих большой опыт охоты на реву со специальными трубами-манками.

8-й день: 07:00 Утренний выход на охоту. 13:00–14:00 Сборы. 14:00–15:00 Обед. 15:00–16:00 Свободное время. 16:00–18:00 Возвращение в г. Северобайкальск (аналогично прибытию). 18:00–19:00 Размещение и ночевка в комфортной гостинице (по договоренности возможно размещение в отличном гостевом доме хозяев охотничьей базы в г. Северобайкальске с русской баней). 19:00–20:00 Ужин. 20:00 Свободное время.

9-й день: 09:00–10:00 Завтрак. 10:00–12:00 По договоренности заезд на рынок (деликатесы из омуля, травы, коренья, сувенирная продукция). 12:00–14:00 Доставка в

аэропорт или на железнодорожный вокзал. 14:00 Отъезд.

Следует отметить, что предложенный проект бизнес-плана является реальным и может быть реализован в ближайшее время.

### Заключение

Таким образом, северные территории Бурятии, в том числе Северобайкальский район, обладают природными и историко-культурными достопримечательностями. Потенциал для развития охотничьего туризма на этих территориях также велик, ресурсы для него должны эффективно использоваться.

Для повышения эффективности использования охотничьих ресурсов необходимо провести ряд мероприятий в том числе мероприятий по реинтродукции некоторых промысловых видов, по борьбе с браконьерством, по поддержке на регулируемом уровне численности крупных хищников (волков, медведей).

Также следует отметить, что охотничье-промысловый потенциал северных территорий Бурятии используется недостаточно ввиду слабого развития охотничьих хозяйств. Для решения этой проблемы необходим поиск рыночных механизмов, повышающих уровень рентабельности и комфортности, развитие технических возможностей и инфраструктурных объектов туристско-рекреационной деятельности.

### Список литературы

1. Александрова Т.А. Охотничий туризм. М.: Лань, 2023. 340 с.
2. Кислов Е.В. Памятники природы Северобайкальского района. Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 1997. 100 с.
3. Суворов А.П., Беленюк Н.Н., Александрова Т.А. Охотничий туризм. М.: Лань, 2023. 320 с.
4. Имескенова Э.Г., Ишигенов И.В., Манханов А.Д. Аграрный туризм. Улан-Удэ: Издательство БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2014. 167 с.
5. Устойчивый охотничий туризм / Сост. Е.Ю. Базаров, А.С. Еремин. Ирбит: Печатный вал, 2016. 132 с.
6. Осодоев П.В. Охотничьи ресурсы Республики Бурятия и их использование // Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 125–129.
7. Охотничье-промысловые ресурсы Сибири и Забайкалья (на примере Иркутской области, Нижневартовского района и Республики Бурятия). [Электронный ресурс]. URL: <https://studentopedia.ru/ekologiya/ohotnichi-promislovie-resursi-sibiri-i-zabajkalya-na-primere-irkutskoj-oblasti--nizhnevartovskogo.html> (дата обращения: 24.12.2023).
8. Биотехния: методические указания практики по получению профессиональных умений и навыков для студентов 2-го технологического факультета, направление 06.03.01. «Биология» специализации «Охотоведение» / сост.: Б.О. Юмов, Е.Ю. Ахметшакирова. Улан-Удэ: ФГБОУ ВО БГСХА, 2018. 38 с.

УДК 504.055  
DOI 10.17513/use.38234

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ  
ГОРОДСКОГО ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ  
РОСТОВА-НА-ДОНУ В ПЕРИОД С 1984 ПО 2023 ГОД  
(ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ)**

**Шехурдин Г.Р., Скляренко Г.Ю.**

*ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: shehurdin@sfnu.ru*

**Аннотация.** Антропогенно-преобразованные тепловые поля – характерная черта современного городского ландшафта, обусловленная специфическими особенностями развития населенного пункта в ходе градостроительного освоения территории. При развитии урбандо-ландшафта наблюдается глубокое видоизменение физических и геоморфологических характеристик территории, происходит формирование новой вертикальной структуры рельефа, распространение экранированных поверхностей, уменьшение площади и густоты растительного покрова. В результате указанных процессов изменяется и эколого-геофизическая составляющая, в частности тепловое поле района. Как правило, это приводит к формированию устойчивой положительной аномалии – городского острова тепла, а также к росту контрастности в пространственном распределении температурных показателей. Дополнительный вклад в тепловой баланс урбандо-ландшафта вносят антропогенные и техногенные источники тепловой энергии – объекты промышленности, транспорта, коммунального хозяйства, отдельные массивные здания и сооружения. Особую важность для качества жизни населения и состояния окружающей среды города имеет поверхностный остров тепла, выражающийся в температурных показателях поверхности и приповерхностного воздуха. Он в наибольшей степени связан с особенностями городской застройки и рельефа и непосредственно формирует среду обитания в пределах населенного пункта. Поверхностный остров тепла может быть идентифицирован при помощи методов дистанционного зондирования Земли в дальнем инфракрасном (тепловом) диапазоне. Благодаря достаточно продолжительной истории наблюдений, использование данных инфракрасной космической съемки позволяет анализировать изменение температурных характеристик территории в процессе градостроительного освоения. В статье рассматривается изменение поверхностного острова тепла в границах городского округа Ростов-на-Дону за период с 1984 по 2023 г., который характеризовался активным развитием городской застройки и изменением территориальной структуры города. Выявлены особенности, характерные для различных функциональных зон города и районов, объединенных общностью исторического развития и особенностями урбандо-ландшафта, определены исторические и современные тенденции развития городского теплового поля.

**Ключевые слова:** Ростов-на-Дону, урбэко-система, городской климат, городской остров тепла, тепловые поля, тепловое загрязнение, дистанционное зондирование Земли, урбандо-ландшафты

**PECULIARITIES OF FORMATION AND DEVELOPMENT  
OF THE URBAN THERMAL FIELD OF ROSTOV-ON-DON  
IN THE PERIOD FROM 1984 TO 2023  
(ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA)**

**Shekhurdin G.R., Sklyarenko G.Yu.**

*Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: shehurdin@sfnu.ru*

**Annotation.** Anthropogenically transformed thermal fields are an important characteristic of the modern urban landscape, determined by the specific features of urban landscape and territorial development. A profound modification of the physical and geomorphological characteristics of the territory, the formation of a new vertical relief structure, the spread of shielded surfaces, a decrease in the area and density of vegetation cover are taking place during the development of the urban landscape. As a result of these processes, the geophysical component is also changing, especially the thermal field of the area. As a result, this leads to the formation of a stable positive anomaly – an urban heat island (UHI), as well as to an increase in contrast in the spatial distribution of temperature indicators. Anthropogenic and technogenic sources of thermal energy like industrial, transportation and municipal facilities, separate massive buildings and constructions make an additional contribution to the thermal balance of the urban landscape. The scale and intensity of the surface heat island, expressed in temperature indicators of the land surface and surface air, is important characteristic of the quality of life and the state of the city's environment. It is most closely related to the features of urban development and topography and directly impacts the habitat within the locality. The surface heat island can be identified using methods of remote sensing of the Earth in the thermal infrared bands. Due to a fairly long history of observations, the use of infrared satellite imagery data it is possible to analyze changes in the temperature characteristics of the territory during the process of urban development. The article examines the change in the surface heat island within the boundaries of the Rostov-on-Don urban district for the period from 1984 to 2023, which was characterized by the active development of urban development and a change in the territorial structure of the city. The features characteristic of various functional zones of the city and districts united by the commonality of historical development and the peculiarities of the urban landscape were revealed, historical and modern trends in the development of the urban thermal field were determined.

**Keywords:** Rostov-on-Don, urban ecosystem, urban climate, urban heat island, thermal fields, thermal pollution, remote sensing, urban landscapes

Тепловое поле природно-антропогенного происхождения – неотъемлемая составляющая городской экосистемы. Ее особенности и ключевые характеристики обусловлены комплексом факторов различного генезиса, оказывающих влияние на приповерхностный тепловой баланс. К таковым относятся местный и региональный климат, пространственная планировка и функциональное зонирование населенного пункта, воздействие стационарных и передвижных источников теплового воздействия, степень экранированности (запечатанности) почвенного покрова, плотность застройки и озеленения селитебных и промышленных зон [1].

Как правило, городское температурное поле в значительной мере отличается от характерного для прилегающих пригородных и сельских территорий, а также природных ландшафтов. В пределах населенного пункта формируется городской остров тепла – обширная положительная аномалия, приуроченная к областям наиболее интенсивного градостроительного освоения [2]. В то же время в масштабе города выделяются «тепловые купола», связанные с объектами, способствующими накоплению тепловой энергии, либо являющимися ее активными источниками, которые хорошо заметны даже на среднегородском фоне. К таким объектам относятся промышленные и жилые массивы, обширные экранированные поверхности (площади, проспекты), транспортная инфраструктура и т.п. Они способствуют образованию положительных тепловых аномалий земной поверхности, искусственных поверхностей и приповерхностного воздуха. Они в наибольшей степени оказывают влияние на условия жизни и деятельности населения города и функционирования компонентов урбоэкосистемы.

Воздействие острова тепла на здоровье человека и состояние окружающей среды комплексно и во многом носит косвенный характер, что, однако, не умаляет его значимость. В частности, аномальное температурное поле в пределах населенных пунктов способствует изменению режима осадков, накоплению загрязняющих веществ в воздухе, нарушению температурного режима водоемов и снижению качества вод [1, 3]. Непосредственное негативное влияние на человеческий организм заключается, прежде всего, в усугублении существующих кардио-, респираторных и других заболеваний и росте смертности от них. Риск максимален в аномально жаркие периоды, но сохраняется и при умеренно высоких температурах.

А наибольшему воздействию подвергается население пожилого возраста и люди, имеющие проблемы со здоровьем [1].

С учетом вышесказанного, принимая во внимание динамическую природу урбоэкосистемы, представляется актуальным исследование пространственно-временного развития явления городского теплового поля в условиях высоких летних температур и активного градостроительного освоения территории, характерных для города-миллионника Ростова-на-Дону в современный период (конец XX – начало XXI в.).

Целью данного исследования является изучение формирования структуры городского теплового поля в контексте развития Ростова-на-Дону. Интерес представляют как сам процесс возникновения и дальнейшего преобразования городского теплового острова, так и выявление закономерностей, связанных с его внутренней дифференциацией. Рассмотрены ключевые особенности, характерные для различных видов городского ландшафта при различных направлениях градостроительной деятельности. Помимо прочего, рассмотрение отклика острова тепла на изменения в структуре урбандшафта позволяет в определенной мере прогнозировать изменения температурного поля в районном и городском масштабе, а потому представляет интерес и в области городского планирования.

Город Ростов-на-Дону – один из крупнейших населенных пунктов Юга России. Расположен в низовьях реки Дон, в зоне влажного континентального климата с жарким летом (Dfa по классификации Кеппена – Гейгера) [4]. Абсолютный максимум летних температур достигает 40,2 °C [5, 6].

Территория города характеризуется высоким уровнем солнечной радиации (порядка 2,7 ГДж/м<sup>2</sup> в год) при малом количестве дней без солнца и их практически полном отсутствии в теплый период года, с мая по сентябрь. На этот же период приходится и наибольшая продолжительность солнечного сияния в течение суток, и наибольшая повторяемость ясного неба по общей облачности [7].

На территории городского округа представлены как урбандшафты, так и условно-природные, антропогенно-преобразованные и агроландшафты. На всем протяжении рассматриваемого периода для Ростова-на-Дону было характерно увеличение площади застройки, прежде всего – многоэтажной, микрорайонного типа. Такая застройка преобладает во всех районах,

введенных в эксплуатацию и строящихся с 1984 по 2023 г. В практически не изменившихся по площади районах малоэтажной и индивидуальной застройки наблюдалась тенденция к увеличению ее плотности за счет точечного строительства, а для части промышленных комплексов характерно изменение функционального назначения, увеличение доли непроизводственных складских и коммерческих зданий. Новыми для города за рассматриваемый отрезок времени стали районы коммерческого назначения: торговые центры, рыночные комплексы и т.п., по физическим характеристикам и планировочным решениям близкие к промышленным, но расположенные зачастую в границах жилых кварталов.

#### Материалы и методы исследования

В качестве исходных материалов для исследования были выбраны данные инфракрасной космической съемки искусственных спутников Земли (ИСЗ) Landsat 5, 8 и 9, представленные снимками в дальнем инфракрасном (тепловом) диапазоне. Использование тепловых спектральных каналов позволяет эффективно выявлять «поверхностный остров тепла», в наибольшей степени ассоциирующийся с видоизмененными, экранированными и застроенными поверхностями и антропогенными источниками тепла.

Начало регулярной съемки территории г. Ростова-на-Дону приходится на 1984 г. (год введения в эксплуатацию ИСЗ Landsat5) [8]. Таким образом, для изучения доступен период в 39 лет, охватывающий время значительного изменения территориально-планировочной структуры города.

В рамках проведенного исследования использовались снимки теплого сезона года (с мая по сентябрь), что обусловлено как климатическими предпосылками к формированию поверхностного острова тепла в данный период, так и актуальностью проблемы теплового загрязнения в условиях высоких летних температур.

Территория городского округа была разделена на районы, объединенные общностью функционального назначения и особенностей формирования в процессе развития населенного пункта (рис. 1). Для обработки исходных материалов использовалась геоинформационная система QuantumGIS и модуль Semi-Automatic Classification Plugin [9]. Для каждого снимка определялась величина температурной аномалии (отклонения) для каждой точки

(пикселя) относительно среднего значения по городскому округу. Затем вычислялась усредненная аномалия для снимков одного года. Полученные значения посредством зональной статистики раstra группировались по районам различного функционального назначения в целях выявления пространственно-временных закономерностей развития теплового поля города.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования были выявлены закономерности изменения теплового поля, связанные как с особенностями градостроительного освоения территории, так и с типом ландшафта и возрастом его формирования. Результаты вычисления усредненной поверхностной температурной аномалии, сгруппированные по группам территорий общего функционального назначения, представлены на рис. 1.

Жилые и промышленные районы города, из числа входивших в его структуру на начало рассматриваемого периода (1984 г.) отличаются значительным сходством в характеристиках теплового поля. Необходимо отметить, что общая структура острова тепла «староосвоенных» районов остается достаточно стабильной независимо от господствующей тенденции. Так, промышленные зоны в целом теплее селитебных и отличаются большим интервалом значений, что связано главным образом с преобладающим типом производства, площадью и конфигурацией производственных объектов. Наибольший уровень теплового загрязнения наблюдается на территории комбайнового завода «Ростсельмаш», наименьший – в Заречной промышленной зоне, где преобладают предприятия обрабатывающей промышленности и портово-складские сооружения. Селитебные районы отличаются сходными температурными показателями вне зависимости от типа застройки и периода формирования – интервал аномальных величин для этой группы территорий составляет порядка 2 °С (для промышленных зон – от 4 до 6 °С). Исключение составляют районы нового (с конца 2000-х до начала 2010-х гг.) строительства – Левенцовский и Суворовский, где наблюдается нестабильное тепловое поле, обусловленное главным образом текущим освоением и благоустройством территории. Ранее на месте обоих районов находились агроландшафты (пашня) с характерными повышенными величинами температурной аномалии.

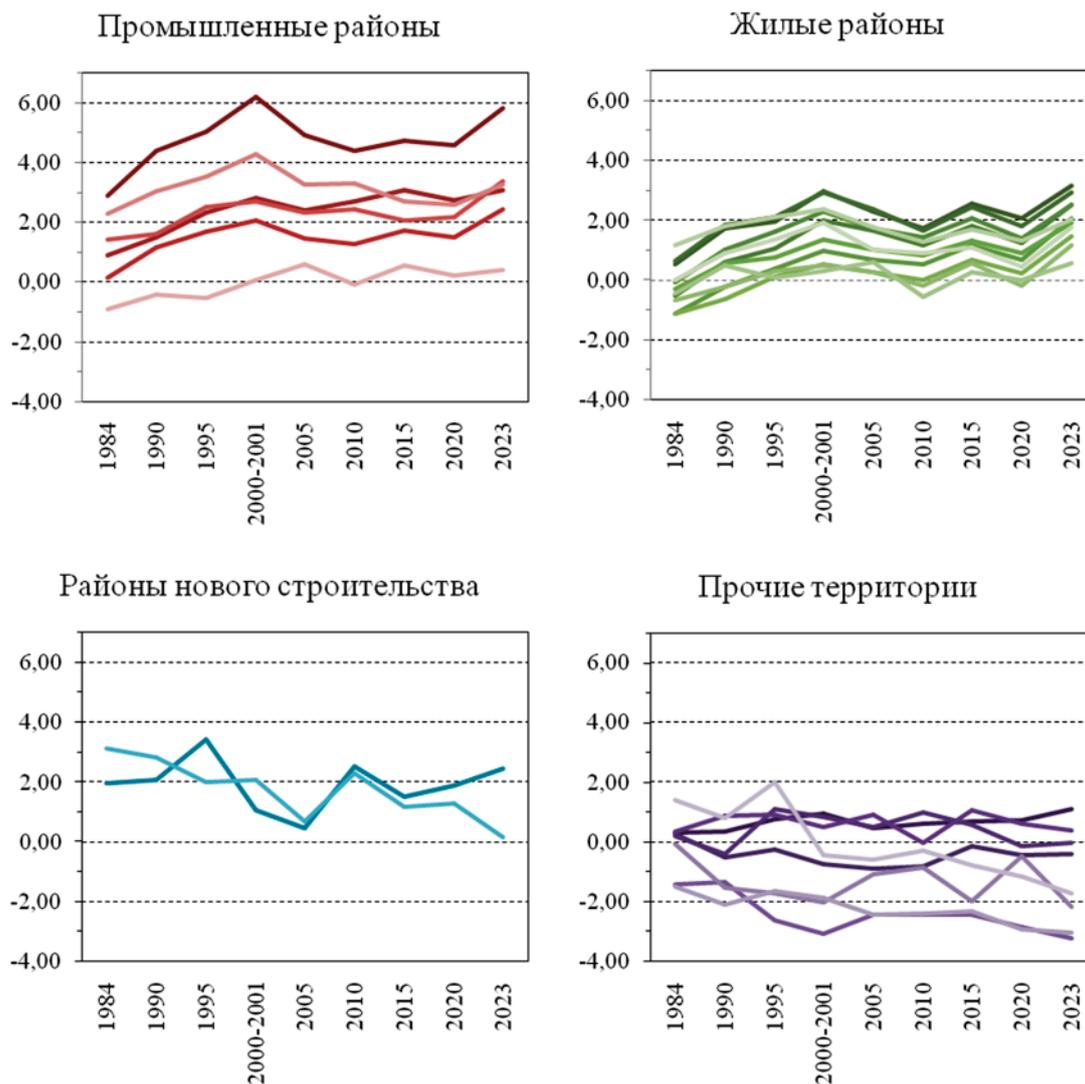


Рис. 1. Величина усредненной поверхностной температурной аномалии основных функциональных зон г. Ростова-на-Дону (в °С)

Отдельную группу составляют прочие территории, к которым относятся неурбанизированные условно-природные и агроландшафты, районы садово-дачной застройки пригородного типа, территории со сложной структурой освоения, городские леса и т.п. Для данных районов на всем рассматриваемом отрезке времени характерно сохранение пониженных величин усредненной аномалии (около  $-3 - -2$  °С), а в некоторых случаях (в особенности для городских лесов и условно-природных ландшафтов) – ее понижение. В условиях незначительных изменений характера землепользования в пределах указанных районов это может быть обу-

словлено ростом среднего городского среднего и повышением контрастности теплового поля в связи с увеличением плотности застройки и сокращением внутриквартального озеленения.

В ходе проведенного исследования при рассмотрении временных тенденций в изменении структуры городского теплового поля были выявлены два периода ее развития на основе данных, касающихся прежде всего промышленных и жилых районов. На картах (рис. 2, 3) наглядно представлена величина изменения усредненной температурной аномалии для территорий города с 1984 по 2001 и с 2001 по 2023 г. соответственно.

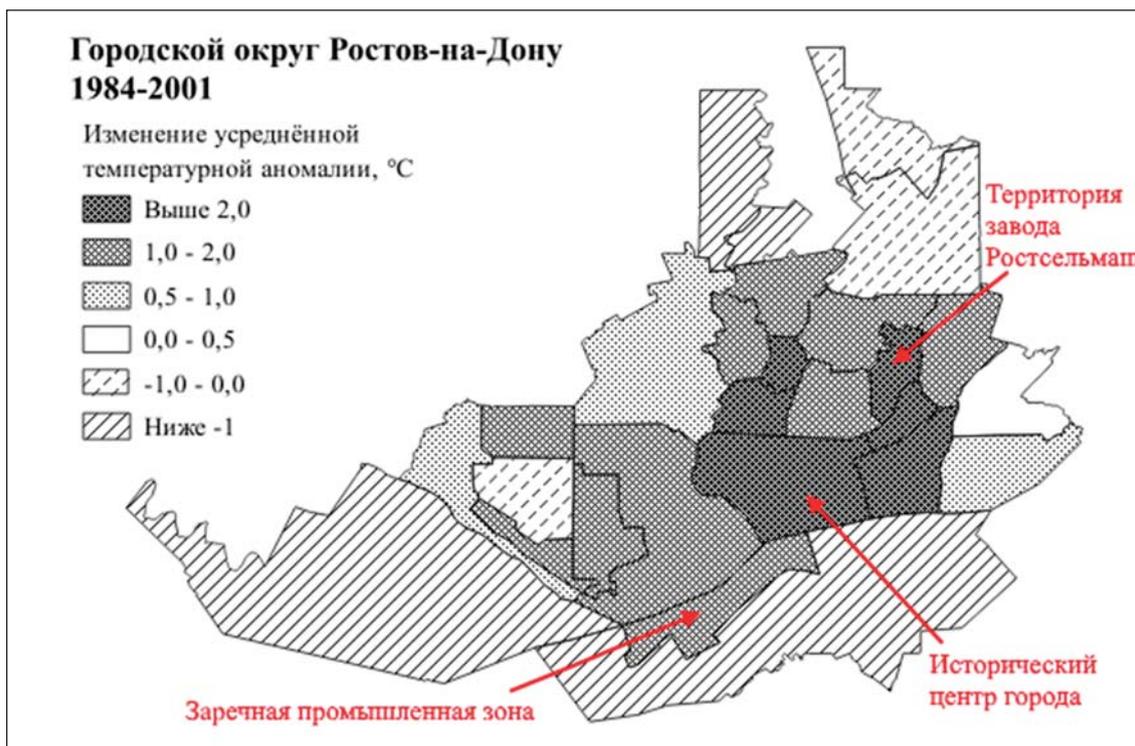


Рис. 2. Величина изменения усредненной температурной аномалии на территории городского округа Ростов-на-Дону в 1984–2001 гг.

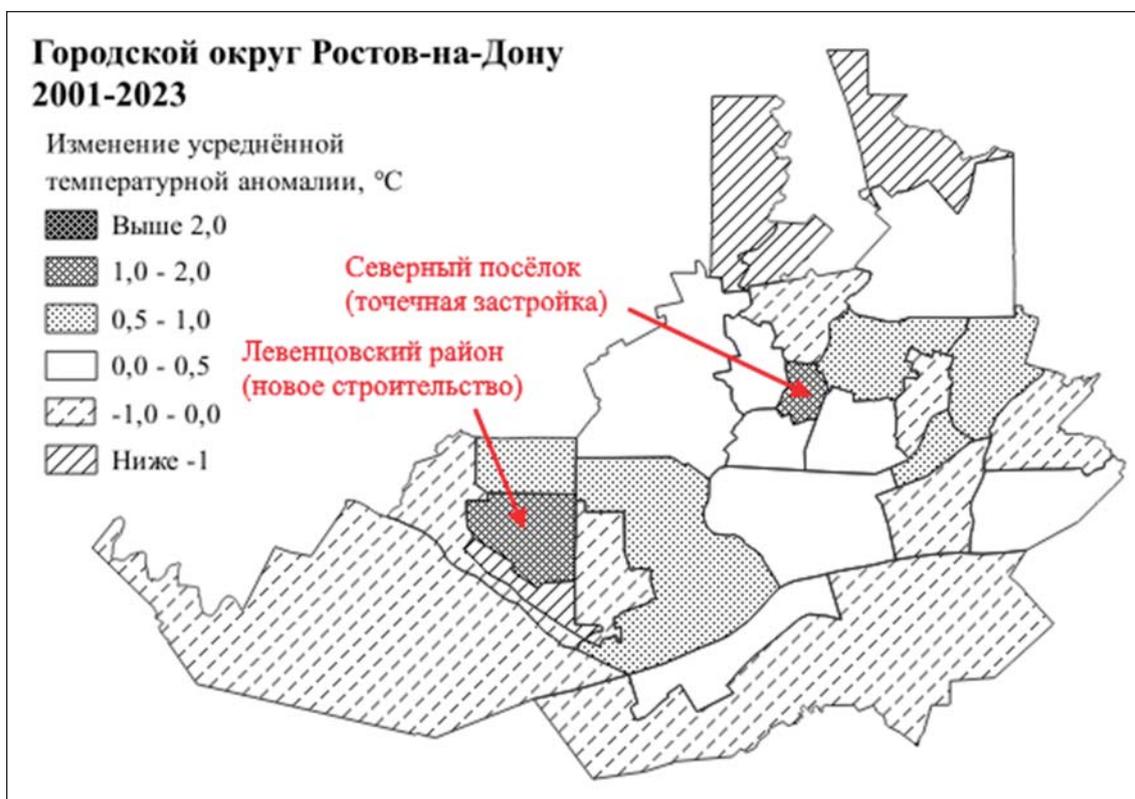


Рис. 3. Величина изменения усредненной температурной аномалии на территории городского округа Ростов-на-Дону в 2001–2023 гг.

Для первого отрезка времени характерно формирование «острова тепла» в пределах урбанизированной территории, что выразилось в следующих явлениях.

– Значительный нагрев большинства промышленных и селитебных территорий. В наибольшей степени он проявился в центральной, староосвоенной части города, в окрестностях завода «Ростсельмаш», а также на прилегающих к центру полупериферийных районах с интенсивной транспортной нагрузкой. Таким образом, в период с 1984 по 2001 г. в Ростове-на-Дону наблюдалось формирование «городского острова тепла» с характерной пространственной структурой.

– Рост контрастности распределения температурных показателей между городской и пригородной средой. При этом температурные показатели окраинных районов (главным образом на востоке, северо-востоке и северо-западе современного городского округа) с преимущественно малоэтажной застройкой и большой площадью зеленых зон и дачных массивов практически не подверглись изменениям, величина которых составила не более 1 °С.

Более поздний период, с 2001 по 2023 г., можно считать временем постепенного видоизменения сложившегося «острова тепла» Ростова-на-Дону, обусловленного локальными преобразованиями городской среды.

– Для жилых массивов, застройка которых преимущественно завершилась, наметилась тенденция к снижению величины температурной аномалии, что связано главным образом с благоустройством и озеленением территории. Необходимо отметить, что и достаточно активное точечное строительство не изменило данную тенденцию в районном масштабе.

– Отрицательное изменение величины теплового поля стало характерным и для промышленных зон, что связано с ростом доли непромышленных построек в их пределах и общим сокращением масштабов индустриального землепользования, расширением неиспользуемых площадей.

– Наиболее крупная область роста температурных показателей теперь приурочена к Левенцовскому району в западной части города – наиболее масштабному объекту ведущегося строительства. В меньшем масштабе подобная тенденция наблюдается в поселке Северном – небольшой области старой застройки, где в последние годы было введено несколько крупных жилищных комплексов, занявших главным

образом озелененные территории (в том числе Октябрьское трамвайно-троллейбусное депо).

– В меньшем масштабе прирост аномальных значений выявлен и в обширных полупериферийных районах на западе и северо-востоке города. Это может быть объяснено как происходящим уплотнением индивидуальной застройки, в том числе коммерческими объектами, так и возросшей транспортной нагрузкой на проходящие через данные районы магистрали.

Рассмотренные особенности, несмотря на свой достаточно выраженный характер, имеют главным образом локальное распространение и не изменяют общую структуру острова тепла в масштабе городского округа, которая остается достаточно стабильной. Так, для большинства как жилых, так и промышленных территорий тепловое поле осталось неизменным, либо изменилось незначительно (менее 0,5 °С по аномалии).

### Выводы

1. В ходе исследования было впервые рассмотрено развитие теплового поля городской территории (для Ростова-на-Дону) на длительном отрезке времени. Были выявлены периоды формирования и стабилизации поверхностного «городского острова тепла».

2. Формирование «городского острова тепла» Ростова-на-Дону пришлось главным образом на период до 2001 г. При этом стоит отметить, что внутригородские особенности распределения температурных показателей определяются прежде всего функциональным назначением территории, характером ее градостроительного освоения, что демонстрируется при сравнении усредненных аномальных значений районов при их группировке по указанным признакам (рис. 1).

3. На этапе формирования городского температурного поля наряду с общим нагревом урбанизированных территорий наблюдалось выделение и в наибольшей степени выраженной центральной части «острова тепла», охватывающей «староосвоенные» районы и крупные промышленные зоны. Таким образом, рост контрастности происходил не только по границе «город – пригород», но и в пределах урбоэкосистемы как таковой.

4. С 2001 г. тепловое поле Ростова-на-Дону пребывает в относительно стабильном состоянии, что выражается в преобладании незначительного, либо слабоотрицатель-

ного прироста усредненной температурной аномалии для большинства урбанизированных территорий. Области активных изменений и роста интенсивности нагрева приурочены к ограниченному количеству районов, объединенных общностью процессов градостроительного преобразования (текущим, либо недавно завершенным новым строительством). Общегородская же тенденция заключается в сохранении сложившейся структуры «городского острова тепла».

5. Рассмотрение проблемы развития теплового поля и его взаимосвязи с направлениями развития урбоэкосистемы и преобразования городской среды обитания актуально как в интересах обеспечения безопасности и достойного качества окружающей среды, условий жизнедеятельности и здоровья населения, так и в целях обеспечения рационального градостроительного освоения и использования территории населенных пунктов.

#### Список литературы

1. Mohajerani A., Bakaric J., Jeffrey-Bailey T. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete // *Journal of*

*Environmental Management*. 2017. Vol. 197. P. 522–538. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.03.095.

2. Heaviside C., Macintyre H., Vardoulakis S. The urban heat island: implications for health in a changing environment // *Current Environmental Health Reports*. 2017. Vol. 4. P. 296–305. DOI: 10.1007/s40572-017-0150-3.

3. Hester E.T., Bauman K.S. Stream and retention pond thermal response to heated summer runoff from urban impervious surfaces // *Journal of the American Water Resources Association*. 2013. Vol. 49, Is. 2. P. 328–342. DOI:10.1111/jawr.12019.

4. Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification // *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 2007. Vol. 11, Is. 5. P. 1633–1644. DOI: 10.5194/hess-11-1633-2007.

5. Климат Ростова-на-Дону – Справочно-информационный портал «Погода и климат» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/34730.htm> (дата обращения: 20.01.2024).

6. Хрусталеv Ю.П., Василенко В.Н., Свилюк И.В., Панов В.Д., Ларионов Ю.А. Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области. Ростов-на-Дону: Батайское книжное изд-во, 2002. 181 с.

7. Панов В.Д., Лурье П.М., Ларионов Ю.А. Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра. Ростов-на-Дону: ООО «Донской издательский дом», 2006. 488 с.

8. Landsat 5 – U.S. Geological Survey [Электронный ресурс]. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5> (дата обращения: 20.01.2024).

9. Congedo L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS // *Journal of Open Source Software*. 2021. Vol. 6, Is. 64. P. 3172. DOI: 10.21105/joss.03172.

УДК 911.5/.9

DOI 10.17513/use.38235

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ КАК ИНСТРУМЕНТ УСТОЙЧИВОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ядрихинский И.В., Егоров А.В., Протопопов С.С.

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск,  
e-mail: yadroid@mail.ru

**Аннотация.** Все чаще ускоренный научно-технический прогресс оказывает негативное влияние на экосистемы Земли, в особенности это касается регионов с особыми природными условиями. Следовательно, проблема глобальной деградации природной среды требует конкретных согласованных решений, позволяющих человечеству создавать индустрию своего спасения от результатов экологически неоправданной деятельности. Формирование адекватных научно обоснованных решений по защите окружающей среды проблемных регионов является конкретным вкладом в систему их эффективного управления устойчивым экологически безопасным развитием. Целью данной работы является разработка основополагающих положений новой парадигмы управления экологической безопасностью в России путем системной координации и унификации эколого-экономических норм природосбережения на сопредельных территориях. Кроме того, также сформулированы базовые принципы создания адекватной методологии, используемой в решении исследовательских задач по обеспечению устойчивого развития социоприродных территориальных образований в региональном и глобальном масштабах. В работе применены базовые математические уравнения: градиентной природы, экспоненциально-степенной природы и интегрально-релаксационные представления, учитывающие зависимость рассматриваемых характеристик. Таким образом, принятие новой парадигмы управления экологической безопасностью дает проблемным регионам России возможность обеспечения их устойчивого социально-экономического развития путем сохранения социоприродного, эколого-экономического баланса в природно-технических геосистемах.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, региональная безопасность, экологическая безопасность, экологические риски, экологический баланс, экологическое управление, окружающая среда

## ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AS A TOOL FOR SUSTAINABLE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

Yadrikhinskiy I.V., Egorov A.V., Protopopov S.S.

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk,  
e-mail: yadroid@mail.ru

**Annotation.** In modern times, it is increasingly observed that the accelerated pace of scientific and technological progress continues to have a negative impact on the natural ecosystems of our Earth, especially in regions with special natural conditions. Consequently, the problem of the tendency of global degradation of the natural environment requires specific coordinated solutions that would allow humanity to create an industry of its salvation from the results of ecologically unjustified activities. The formation of adequate science-based solutions to protect the environment of problem regions is a concrete contribution to the system of their effective management of sustainable environmentally safe development. The purpose of this paper is to develop the fundamental provisions of a new paradigm of environmental safety management in Russia through systemic coordination and unification of environmental and economic norms of nature conservation in neighbouring territories. In addition, the basic principles of creating an adequate methodology used in solving research problems to ensure sustainable development of socio-natural territorial formations on regional and global scales are also formulated. The basic mathematical equations: of gradient nature, exponential-step nature and integral-relaxation representations that take into account the dependence of the characteristics under consideration are applied in the work. Thus, the adoption of a new paradigm of environmental safety management gives problematic regions of Russia the opportunity to ensure their sustainable socio-economic development by preserving socio-natural, ecological and economic balance in natural-technical geosystems.

**Keywords:** sustainable development, regional security, environmental safety, environmental risks, environmental balance, environmental management, environment

Современный характер развития мировой экономики все более остро создает негативные предпосылки трансформации климатообразующих процессов и качественного ухудшения жизненной среды обитания, обусловленных антропогенным влиянием на биогеоценоз планеты в условиях нерегулируемого использования

всех видов природных ресурсов. Переход на более концентрированные источники энергии усложняет процессы их промышленного использования и повышает тем самым экологические риски в природно-технических геосистемах не только в локальном и региональном, но и в глобальном измерении.

Стремительный научно-технический прогресс породил противоречивую ситуацию, заключающуюся в том, что рост благосостояния и общего уровня мировой экономики обусловлен постоянно усиливающейся глобальной деградацией природной среды, а значит, и жизнеобеспечивающей среды всех популяций биосферы планеты. В результате человек вынужден создавать индустрию своего спасения от результатов своей экологически неоправданной деятельности. Поэтому нарастающий в мире экологический кризис побуждает нас с исключительной ответственностью искать кардинальные пути его преодоления.

Основная цель настоящего исследования – разработка основополагающих положений новой парадигмы управления экологической безопасностью в России путем системной координации и унификации эколого-экономических норм природосбережения на сопредельных территориях.

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

По подсчетам российских ученых человечество сейчас активно использует около 60% всей суши, более 12% пресных вод и не менее 50% ежегодного прироста леса [1]. Наибольшую ответственность за последствия антропогенного прессинга в планетарном масштабе несут не только индустриальные и промышленно развитые страны, в не меньшей степени это касается развивающихся стран, экономика которых обеспечивается главным образом экстенсивным использованием природных ресурсов. Это, к сожалению, объясняется негативной интенцией в структуре управления экологически безопасным социально-экономическим развитием большинства ресурсодобывающих стран.

Россия в силу своей территориальной уникальности, прежде всего в географическом, геокриологическом и природно-ресурсном отношении, обладает наибольшими арктическими и субарктическими территориями, нарушение устойчивого экологического баланса которых является одним из факторов не только деградации собственного биогеоценоза, но и негативного влияния на динамику мирового климата. Движение России по пути социально-экономических реформ подтвердило тезис о необходимости пересмотра наших представлений о приоритетах в системе экологически устойчивого развития в рамках региональной экономики. Регион как несущая конструкция социоприродного развития должен прежде всего обеспечи-

вать необходимые и достаточные условия экологической безопасности собственного природно-территориального комплекса, а не только быть ориентированным на решение текущих задач народнохозяйственной необходимости государства при недостаточности финансирования экологических программ региона.

При разработке основополагающих положений новой парадигмы управления экологической безопасностью в России авторами были применены классические методы, применяемые в географических исследованиях: сравнения, статистическая обработка данных, анализа.

#### *Якутия как пример региона особого природопользования*

Республика Саха (Якутия) относится к регионам особого стратегического значения для экономического развития Российской Федерации. Достаточно указать на три основных вектора социоприродного развития этого региона. Во-первых, беспрецедентно огромные размеры территории этого субъекта Федерации – 3,102 млн км<sup>2</sup>, что соответствует 2/3 площади Западной Европы; превышает территорию Франции в 6 раз, Великобритании – в 13 раз. По отношению к России Якутия занимает почти 1/5 ее часть. Во-вторых, Якутия обладает экстремальным климатом. По амплитуде сезонной составляющей в Верхоянске – 108°С Якутия не имеет себе равных в мире. В-третьих, почти 80% территории лежит севернее 60° с.ш., а 40% – за Северным полярным кругом. К этому следует также добавить, что республика обладает богатейшим ресурсным потенциалом: углеводородные энергоресурсы, цветные и драгоценные металлы, алмазы, многочисленные биоресурсы.

Обладая столь масштабной и уникальной природно-ресурсной характеристикой, Якутия способна обеспечивать важное геополитическое преимущество России в контексте позитивного климатообразующего фактора не только в общерегиональном (в границах всех соседствующих с ней сопредельных территорий), но и на общегосударственном и даже глобальном уровне. Однако для этого имеются пока только необходимые, но не достаточные условия. Необходимые – это естественный природный потенциал (де-факто), который не может быть полностью реализован в социоприродном, эколого-устойчивом развитии региона (де-юре) в соответствии с международными нормами антропогенных ограничений

в глобальных масштабах. Учитывая доминирующую роль в формировании мирового климата полюсов холода на планете, роль арктических регионов России обретает особый статус экологической ответственности [1].

Уже с этой точки зрения прослеживается главная идея нового типа регионального развития, а именно по своему значению экономические, экологические и социальные цели общественного развития поднимаются на один уровень ответственности государственного и частного финансирования в интересах устойчивого развития региона. В особенности это касается регионов Крайнего Севера и регионов северного территориального пояса. Для них в качестве приоритетных направлений развития определяется комплекс задач, наиболее полно отвечающих региональным и государственным интересам, в том числе удовлетворяющим международным требованиям устойчивого развития. В этом случае повышаются требования к экологической эффективности управления защитой окружающей среды в регионах особого природопользования (РОП) [2].

Регион автономно, за счет достаточных собственных ресурсов, должен поддерживать экологический баланс на территории, подверженной антропогенному воздействию со стороны объектов промышленной и социальной инфраструктуры. Это касается не только территорий, непосредственно испытывающих многофункциональную техногенную нагрузку, но также и территорий особого природоохранного статуса (заповедники, национальные парки, заказники и т.д.). С учетом все большей геополитической и экономической интеграции России значение регионов – РОП усиливается на международном уровне, поскольку задачи сохранения уникальных экосистем и природных ресурсов обретают особую важную роль для всего мирового сообщества.

Якутия в составе сопредельных с ней других субъектов федерации относится к регионам, социоприродные проблемы которых обусловлены повышенной ответственностью в обеспечении устойчивого экологически безопасного развития многоотраслевого хозяйственного механизма региональной экономики. Это обстоятельство связано не только с экологически экстремальными ситуациями, обусловленными техногенными авариями, но также уникальностью природной среды (экотопа и биоценоза), чувствительной к любым воздействиям со стороны объектов промышленной и социальной инфраструктуры – механиче-

ским, геохимическим, тепловым, радиационным, акустическим и др. При этом играет роль фактор времени (продолжительности) таких воздействий [3].

Поэтому формирование адекватных научно обоснованных решений по защите окружающей среды проблемных регионов (относящихся к категории РОП) может стать конкретным вкладом в систему их эффективного управления устойчивым экологически безопасным развитием. В связи с этим сегодня остро встает вопрос о необходимости перехода на новую парадигму управления экологической безопасности проблемных регионов России с целью обеспечения их устойчивого социально-экономического развития. Новая парадигма основывается на следующих методологических принципах.

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

Оценка интегрального техногенеза, формируемого объектами промышленной и социальной инфраструктуры в экологически условных границах (с учетом сопредельных территорий) в конкретных регионах. В оценке последствий антропогенного воздействия на природно-территориальный комплекс региона принципиальное значение имеет выявление допустимых масштабов суммарного влияния на все компоненты экотопа и биоценоза.

Количественная оценка экологической емкости территории региона по дифференцированным (территориально-отраслевым) и интегральным (общерегиональным) показателям. Экологическая емкость может отражать фактический уровень снижения природозащитного потенциала как по отдельным составляющим экотопа (атмосферы, гидросферы, литосферы) и биоценоза (популяций флоры и фауны), так и в территориальном масштабе региона в целом [4].

Обобщение результатов регионального инженерно-экологического мониторинга за нормативно установленный период. Целевая функция такого мониторинга позволит устанавливать причинно-следственный характер взаимосвязи масштабов техногенных нагрузок и воздействий, а также обусловленных ими восстанавливаемых и невосстанавливаемых депрессивных изменений в социоприродной среде региона.

Разработка адекватных механизмов управления инженерной защитой окружающей среды путем усовершенствования экологических норм проектирования, строительства и эксплуатации объектов про-

мышленной и социальной инфраструктуры. Эффективность механизмов управления подразумевает инженерно-экологическую оптимизацию технологических режимов по всем стадиям жизненного цикла сооружения и эксплуатации промышленных объектов; совершенствование нормативно-технических решений всех видов производственного инструментального контроля, испытаний и технической диагностики.

Пересмотр и уточнение сметной стоимости проектно-конструкторских и технологических работ в направлении необходимости и достаточности ограничений техногенных нагрузок и воздействий на биосферу региона в целях его экологически безопасного развития [5]. Обоснование экономической необходимости управления динамикой устойчивого сохранения экологической емкости (и даже ее повышения для территорий особого природоохранного статуса) должно проводиться для всех санитарно-защитных зон хозяйствующих субъектов региона.

**Разработка методов обоснования количественной оценки предотвращенного экологического ущерба в стоимостных и натуральных единицах измерения.** В основе таких методов лежит тезис превентивной защиты окружающей среды как фактор потенциального экономического эффекта (перечеркнутый минус всегда дает плюс).

*Устойчивое эколого-экономическое развитие регионов Российской Федерации реализуется по основополагающим направлениям:*

- для возобновляемых природных ресурсов в режиме простого воспроизводства;
- для невозобновляемых природных ресурсов с использованием альтернативных источников;
- для природных ресурсов, относящихся к категории «условно возобновляемых»;
- обеспечение требуемой минимизации количества всех видов промышленных и бытовых отходов путем создания безотходных и малоотходных технологий и производств.

Основные базисы новой парадигмы управления экологической безопасностью социоприродных образований на федеральном и региональном уровнях

№ п/п	Наименование подсистемы оптимизации управления экологической безопасностью природно-территориального комплекса	Функциональная характеристика расчетно-формирующей модели	Показатели устойчивого социально-экономического развития
1	2	3	4
1	<p>Оптимизация норм промышленного освоения территорий.</p> <p>1.1. Нормирование предельно допустимых уровней интенсивности действующих на природную среду техногенных нагрузок.</p> <p>1.2. Нормирование конструкторских и технологических решений по экологически размерной цели потенциально возможных потерь в биогеоценозе и их неперевышения заданной величины</p>	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n n \Delta \varepsilon_{ij}(\omega) \leq \Delta_{\Sigma}[A_{ndoe}; G_{ndoe}; L_{ndoe}]$	<p>Ограничение предельно допустимых выбросов в атмосферу (<math>A_{ndoe}</math>), гидросферу (<math>G_{ndoe}</math>) и литосферу (<math>L_{ndoe}</math>) региона. Снижение потерь в пределах допустимых значений <math>\Delta E_{ij}</math> по всем параметрам техногенных нагрузок воздействий (<math>\omega</math>)</p>
2	<p>Оценка экологического баланса в границах региона и соседствующих с ним сопредельных территорий</p>	$\mathcal{E}_{(A, B)}^+ = \mathcal{E}_{(C, D)}^-;$ $P_{\circ} = B_{ep}[\mathcal{E}_{(A, B)}^+ \leq \mathcal{E}_{(C, D)}^-]$	<p>Обеспечение экологической сбалансированности по группе показателей: <math>A</math> – энергомассопереноса (ЭМП) при соблюдении всех экологических норм (идеализированный негатив); <math>B</math> – показатель ЭМП при наличии от экологических норм (реальный экологический негатив); <math>C</math> – показатель ЭМП в пределах естественной саморегенерации при родной среды (полный экологический позитив); <math>D</math> – показатель ЭМП в пределах искусственного цикла восстановления (частичный экологический позитив)</p>

№ п/п	Наименование подсистемы оптимизации управления экологической безопасностью природно-территориального комплекса	Функциональная характеристика расчетно-формирующей модели	Показатели устойчивого социально-экономического развития
3	Оценка экологических рисков на региональном и общегосударственном уровнях	$\min(\varepsilon) = \min \left[ \begin{array}{l} \sum_{i(A)}^n \sum_{i(G)}^n \\ \sum_{i(L)}^n e_{iA}; e_{iG}; e_{iL} \end{array} \right]$	Определение тензоров антропогенного состояния: – геосферы по экологическим базисам (A, G, L); – биосферы по безопасности всех биопопуляций $\varepsilon(\sum^n e_i)$
4	Обоснование опережающей стратегии природосберегающих мероприятий по производственно-технологическим стадиям жизненного цикла	$t_{on} = t_{эц} - t_{нц} \geq$ $\geq (\varphi_u \rightarrow [\varphi_u]_{норм})$	Гарантированное обеспечение природоохранного потенциала $\varphi_u \rightarrow [\varphi_u]_{норм}$ . За счет опережения инженерно-экологического цикла $t_{эц}$ производственный цикл $t_{нц}$
5	Эколого-экономический анализ ущерба окружающей среды. 5.1. Определение масштабов экологического ущерба: – в пределах нормативных условий эксплуатации (безаварийный режим); – при нарушении экологически безопасных условий эксплуатации (аварийный режим); 5.2. Количественная оценка антропогенной депрессии промышленно осваиваемой территории по комплексным показателям экологического состояния региона до ( $E_\Sigma$ ) и после ( $E_\Sigma$ ), техногенных воздействий	$U_\Sigma = U_H + U_a;$ $P_{U\Sigma} = P[E_0 < E_{кр}]$	Снижение масштабов ущерба в безаварийной ( $U_H$ ) и аварийной ( $U_a$ ) стадиях функционирования объектов. Управление экологическим риском $P_{U\Sigma}$ в пределах заданного диапазона допустимого энергетического (по техногенным нагрузкам и ЭМП) эквивалентна $\Delta E(E_0 < E_{кр})$
6	Обоснование эффективности затрат на предотвращение экологически экстремальных ситуаций на территориях, подведомственных хозяйствующим субъектам природопользования	$CЭ = C_{\Sigma Unpi}^n + C_{\Sigma Ti}^n$	Снижение затрат по составляющим суммарного ущерба от предельных техногенных воздействий $C_{\Sigma Unpi}^n$ , а также текущих затрат $C_{\Sigma Ti}^n$ на обеспечение экологической безопасности
7	Обоснование объемов основного финансирования (на уровне субъектов ресурсопотребления и природопользования) и дополнительного финансирования (на федеральном уровне) для регионов особого природоохранного статуса. Мотивированная эквиваленция необходимых объемов финансирования исходя из количественных значений показателей $e_i; K_e; U_\Sigma$	$\varphi\{C_{осн}\} \approx \varphi\{e_i; K_e; U_\Sigma\}$	Результативность инженерной защиты социоприродной среды, обеспечивающая экологоустойчивое развитие региона, создает объективные предпосылки для экономического стимулирования природоохранной деятельности в соответствии с адекватными поправками в законы РФ; в частности, по вопросам налогообложения: освобождения от НДС, уменьшения налога на прибыль хозяйственных субъектов на сумму средств, направленных ими для обеспечения устойчивой защиты территории особого природоохранного статуса. В первую очередь это арктические территории, а также содержащие заповедники, национальные парки, участки дикой природы и т.п.

*Эффективным критерием устойчивого эколого-экономического развития следует считать снижение природоемкости экономики:*

– на федеральном уровне показатели природоемкости рассчитывают путем отношения объема затраченных на промышленные и хозяйственные цели природных ресурсов к общему объему ВВП в единицу нормативного срока;

– на региональном уровне рассчитывают показатели природоемкости путем сопоставления объема ресурсов, затраченных на единицу конечного продукта.

***Обоснование социально-экономического стимулирования регионов с учетом положительной динамики изменения экологической емкости.***

*Экологическая емкость промышленно осваиваемых территорий определяется с учетом трех основных факторов:*

– масштабов конкретных техногенных нагрузок и воздействий в границах подконтрольной территории;

– масштабов восстановленного баланса биогеоценоза за счет собственных механизмов саморегенерации;

– масштабов восстановления и экологической реконструкции антропогенно нарушенной территории.

При этом учитываются реальные трансграничные процессы энергомассопереноса из сопредельных территорий с целью количественной оценки дополнительных изменений экологической емкости.

В таблице отражены основные базисы новой парадигмы управления экологической безопасностью социоприродных образований на федеральном и региональном уровнях.

### **Заключение**

Таким образом, социально-экономическая мотивация необходимой федераль-

ной финансовой поддержки экологически депрессивных регионов, а также регионов особого природопользования (РОП), подверженных нарастающей экологически негативной трансформации, является принципиально обоснованной. Критерием мотивации является обеспечение устойчивого экологически безопасного природно-ресурсного баланса в пределах нормативного срока и осуществляемого путем дополнительных расходов материальных ресурсов со стороны хозяйствующих субъектов по внеплановой дополнительной модернизации и технологическому усовершенствованию объектов инфраструктуры на всех этапах управления инженерной защиты окружающей среды. Авторами принята попытка разработки совершенно новой парадигмы управления устойчивого социально-экономического развития регионов РФ на примере Якутии.

### **Список литературы**

1. Ядрихинский И.В. О значении фундаментальных исследований в решении глобальных экологических проблем // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 4-2 (106). С. 30–35. DOI: 10.23670/IRJ.2021.106.4.030.
2. Филатова Д.А. Эколого-экономический рейтинг как индикатор устойчивого развития в регионах России // Экология и техносферная безопасность: сборник докладов I Всероссийской молодежной научно-практической конференции (Тула, 27 июня 2022 г.). Тула: Инновационные технологии, 2022. С. 18–23.
3. Бутко Г.П., Гречиц А.А. Риск-менеджмент как составляющая методологии экологического менеджмента // Агропродовольственная политика России. 2015. № 2 (38). С. 53–57.
4. Пропп О.В., Онопченко И.В. Экологический менеджмент как инструмент повышения экологической безопасности // Инновационные исследования: проблемы внедрения результатов и направления развития: сборник статей Международной научно-практической конференции (Пермь, 20 января 2019 г.). Ч. 2. Пермь: ООО «Аэтерна», 2019. С. 8–12.
5. Васильев А.К., Ефимова Н.Б. Организационно-экономические основы формирования экологического менеджмента в лесном хозяйстве // Актуальные вопросы экономических наук. 2009. № 6–2. С. 162–165.

## СТАТЬИ

УДК 553.64

DOI 10.17513/use.38236

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ПЕРЕРАБОТКИ ФОСФОРИТОВОЙ РУДЫ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗГОНКИ ЖЕЛТОГО ФОСФОРА****<sup>1</sup>Бобков В.И., <sup>1</sup>Быков А.А., <sup>2</sup>Незамаев С.В.**<sup>1</sup>*Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске,  
Смоленск, e-mail: vovabobkoff@mail.ru;*<sup>2</sup>*АО «Первая горнорудная компания», Москва, e-mail: pgrk@armz.ru*

**Аннотация.** Исследования проводились на фосфоросодержащем рудном сырье с целью определения его пригодности для производства желтого фосфора. Выполнены расчеты технологических показателей процесса электровозгонки желтого фосфора с использованием в качестве флюса гальки-гравия. Установлено, что галька-гравий в принципе может быть использована в качестве кварцсодержащего флюса в процессе электротермического получения желтого фосфора в рудотермических печах. Однако это приведет к снижению производительности фосфорных рудотермических печей на 10–15% по сравнению с кусковым кварцитом непосредственно с исследуемого месторождения. Научно обосновано, что кусковая руда не может быть использована в производстве желтого фосфора при следующих способах ее термической подготовки: обжиг куска, измельчение сырой руды – окомкование – обжиг. Рассчитана прочность обожженных окатышей в исследованном диапазоне по составу шихты, которая не превысила 120 кг/окатыш, хотя отдельные образцы обладали прочностью до 200 кг/окатыш. Это объясняется возможной сегрегацией, расслоением шихты на составляющие, при которых в потоке комкуемой смеси возникают зоны, обогащенные глиной и обедненные по содержанию кварцевого песка. Выявлено, что кусковой кварцит пригоден для использования в качестве флюса в процессе электровозгонки желтого фосфора и обеспечит получение энергоресурсоэффективных показателей. Анализ химического состава фосфоритовой руды до и после обработки проводили с помощью спектрального метода, а для определения температурных режимов использовали метод высокотемпературной дериватографии. На основе анализа экспериментальных данных были определены оптимальные физико-химические условия переработки желтого фосфора исследуемого месторождения с получением продукции, соответствующей требуемым показателям.

**Ключевые слова:** фосфоритовая руда, галька-гравий, кварцит, шихта, флюс, окускование, обжиг, температура, прочность

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-11-00335,  
<https://rscf.ru/project/22-11-00335/>.*

**ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL INDICATORS OF PHOSPHORITE  
ORE PROCESSING FOR YELLOW PHOSPHORUS ELECTROWINNING****<sup>1</sup>Bobkov V.I., <sup>1</sup>Bykov A.A., <sup>2</sup>Nezamayev S.V.**<sup>1</sup>*Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute, Smolensk,  
e-mail: vovabobkoff@mail.ru;*<sup>2</sup>*JSC First Mining Company, Moscow, e-mail: pgrk@armz.ru*

**Annotation.** Studies were conducted on phosphorus-containing ore raw materials in order to determine its suitability for the production of yellow phosphorus. Calculations of technological parameters of the process of electric distillation of yellow phosphorus using pebbles-gravel as a flux have been performed. It has been established that pebble-gravel can in principle be used as a quartz-containing flux in the process of electrothermal production of yellow phosphorus in ore-thermal furnaces. However, this will lead to a decrease in the productivity of phosphorus ore-thermal furnaces by 10-15%, compared with lump quartzite directly from the studied deposit. It is scientifically proved that lump ore cannot be used in the production of yellow phosphorus with the following methods of its thermal preparation: firing of a piece, crushing of raw ore – pelletizing – firing. The strength of the fired pellets was calculated in the studied range of charge composition, which did not exceed 120 kg/pellet, although individual samples had a strength of up to 200 kg/pellet. This is explained by the possible segregation, stratification of the charges into components, in which zones enriched with clay and depleted in the content of quartz sand arise in the flow of the lumped mixture. It has been revealed that lump quartzite is suitable for use as a flux in the process of electric distillation of yellow phosphorus and will provide energy-resource-efficient indicators. The analysis of the chemical composition of phosphorite ore before and after processing was determined using the spectral method, and the method of high-temperature derivatography was used to determine temperature conditions. Based on the analysis of experimental data, optimal physico-chemical conditions for processing yellow phosphorus from the studied deposit were determined to obtain products corresponding to the required indicators.

**Keywords:** phosphorite ore, pebble-gravel, quartzite, charge, flux, pelletizing, roasting, temperature, strength

*The study was supported by the Russian Science Foundation grant № 22-11-00335,  
<https://rscf.ru/en/project/22-11-00335/>.*

В настоящее время запасы фосфатных руд в Российской Федерации составляют примерно 2–2,5% общемировых запасов. При этом значительная их часть обладает низким процентом содержания полезного компонента (примерно 12–13%), в отличие от зарубежных месторождений, содержащих 26–28% полезного состава, к тому же относятся к труднообогатимому типу. В результате основу фосфатного производства российских предприятий составляют руды Каратауского фосфоритоносного бассейна с содержанием оксида фосфора  $P_2O_5$  15–25%, Актюбинского фосфоритоносного бассейна и других зарубежных месторождений. Такое состояние делает российскую химическую промышленность уязвимой. В качестве основы сырьевой базы фосфатов предполагается использование месторождения апатитовых руд Хибинской группы, расположенной в Мурманской области, с процентным содержанием оксида фосфора  $P_2O_5$  7,5–17,5%. Однако ориентация на богатые руды, запасы которых на территории России невелики, приведет в дальнейшем к снижению производства фосфора. В связи с этим необходимо разработать эффективную технологию обогащения обедненных фосфатных руд, залегающих в центральных районах нашей страны, в частности в Брянской и Московской областях, а также в новейших месторождениях в Сибири и на Урале. Следует проанализировать возможность применения существующих технологий переработки богатых руд по отношению к обедненным рудам и на основе полученных данных либо адаптировать имеющиеся технологии на основе используемого оборудования российских предприятий, либо разработать принципиально новую технологию. В работах российских исследователей показано, что кусковые фосфатные руды, обладающие благоприятным сочетанием физико-химических свойств (химический состав, высокая механическая и термическая прочность, плавкость и т.д.), после соответствующей подготовки (дробление, сортировка) и термической обработки (сушка, обжиг) могут быть использованы в процессе производства желтого фосфора [1, 2].

Термическая подготовка данного типа руды может осуществляться во вращающей-

ся трубчатой или шахтной печи, на конвейерных машинах ленточного типа [3, 4]. Высушенный или прокаленный рудный материал подвергается грохочению с выделением мелочи, кондиционный по крупности кусок подается в рудотермическую печь [5, 6].

Цель исследования – анализ технологических показателей: гранулометрического, химического состава сырой фосфоритовой руды и добавок флюса – для технико-экономического обоснования вовлечения ее в переработку и термическую подготовку для переплавки в рудотермических фосфорных печах с получением желтого фосфора.

#### Материалы и методы исследования

Для выявления технологических показателей процесса обжига кускового фосфорита были проведены эксперименты по указанной схеме подготовки сырья [7]. Исследовалась проба отсортированной сырой кусковой руды Софроновского месторождения. Руда, поступившая на исследование, имела следующий гранулометрический состав, приведенный в таблице 1.

Максимальный размер куска – 200 мм.

Химический и минеральный состав руды до и после обжига определяли на основе спектрального метода исследования с применением спектрометра MCA S,P. В таблице 2 приведен химический состав руды по фракциям и средний по всей пробе. Следует учесть, что из-за небольшого веса пробы с учетом максимального размера куска было затруднительно сформировать представительную среднюю пробу для производства всестороннего химического анализа [8, 9].

Показатели химического состава свидетельствуют о том, что крупные фракции фосфорита отличаются более низким содержанием оксида фосфора и более высоким содержанием оксида кальция CaO и двуокиси углерода. Отдельные куски фракции более 50 мм имели содержание оксида фосфора  $P_2O_5$  в пределах 5–6%, в то время как процент двуокиси углерода достигал 35%, то есть, по существу, представляли собой карбонатную породу. Таким образом, куски в пределах узкого класса могут значительно отличаться по химическому и литологическому составу, а следовательно, по физико-химическим свойствам [10, 11].

Таблица 1

Гранулометрический состав руды

мм	Менее 5	От 5 до 10	От 10 до 25	От 25 до 50	От 50 до 70	Более 70
%	5,87	1,15	16,83	18,74	12,45	44,96

Таблица 2

Химический состав кусковой сырой руды по фракциям

Фракция, мм	Содержание компонентов, %											
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	Cl	S	п.п.п.* 1000°C	H <sub>2</sub> O	Прочие
(0; 5)	22,25	1,59	0,71	50,8	0,65	0,4	2,78	0,24	0,95	18,17	1,16	0,3
(5; 10)	20,31	1,52	0,60	50,3	0,7	0,25	2,68	0,25	0,72	21,2	1	0,47
(10; 25)	19,72	1,43	0,50	50,5	0,6	0,2	2,46	0,09	0,64	22	0,93	1,07
(25; 50)	19,11	1,22	0,35	51,5	0,45	0,2	2,44	0,1	0,62	22,2	0,8	1,01
(50; 70)	18,1	1,21	0,45	51,55	0,40	0,2	2,33	0,1	0,46	24,2	0,61	0,39
Более 70	16,9	1,11	0,67	51,15	0,8	0,2	2,03	0,11	0,4	25,5	0,5	
Средняя	17,93	1,21	0,61	51,44	0,75	0,21	2,23	0,12	0,45	24,15	0,6	0,8

Примечание: п.п.п.\* – прочие продукты прокалики.

Таблица 3

Результаты опытов по обжигу кусковой руды

Температура обжига, °С	Гранулометрический состав руды после обжига и воздействия механических нагрузок, мм					Убыль веса при обжиге, %
	Более 50	(25; 50)	(10; 25)	(5; 10)	Менее 5	
800	0,54	35,14	14,05	4,32	45,95	7,5
900	2,35	20,59	14,12	3,53	59,41	14,57
1000		28,75	7,5	3,75	60	20
1100		14,81	23,7	1,48	60	24,5
1100*	1,04	12,5	13,89	4,86	67,71	25

Примечание: \* – обжиг произведен в условиях плавного (постепенного) нагрева.

Поскольку крупные фракции отличаются большей карбонатностью, можно предположить, что они обладают и наименьшей термической стойкостью.

Химический анализ средней для пробы сырой руды показал, что содержание оксида фосфора P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в ней составляет всего 17,9%, чего недостаточно для процесса производства желтого фосфора с удовлетворительными показателями.

Руда исходной крупности была подвергнута механическому испытанию в барабане. При этом определено, что только под воздействием механических нагрузок, имитирующих процессы складирования, грохочения, падения при перегрузках и так далее, она способна дать до 36% мелочи менее 10 мм, то есть при условии отгрузки с рудника сортированной руды только примерно 60% ее валового количества может быть подвергнуто термической подготовке. Из-за высокого содержания потерь при прокаливании и двуокиси углерода таким методом подготовки может быть только высоко-

температурный обжиг [12]. В таблице 3 приведены данные по обжигу кусковой руды.

Для более полной прокалики (декарбонизации) руды обжиг должен осуществляться при температуре 1100°C. Однако, как видно из таблицы 3, прокаленный кусок обладал низкой механической прочностью. Выход руды класса менее 5 мм составил порядка 60%, а годного для процесса электровазгонки желтого фосфора – не более 40%.

Следовательно, при схеме: рудник → кусок → транспортировка → подготовка → обжиг → рудотермическая печь – из каждой тонны отсортированной на руднике руды в рудотермическую печь попадает лишь четверть тонны кондиционного продукта.

Образующаяся сырая и прокаленная мелочь должна быть или вывезена в отвал, или окускована методом агломерации, брикетирования, окатывания и т.п. Из вышесказанного следует, что технология переработки кусковой руды на желтый фосфор не может рассматриваться как перспективная и энергоресурсоэффективная [13].

Таблица 4

Гранулометрический состав руды

мм	(0; 0,074)	(0,074; 0,1)	(0,1; 0,14)	(0,14; 0,28)	(0,28; 0,56)	Более 0,58
%	72,06	8,14	16,62	2,2	0,88	0,08

Таблица 5

Окомкование сырой руды с добавлением глины и кварцевого песка

№ п/п	Состав шихты, %			Прочность на сжатие окатышей, кг/окатыш		Прочность на сжатие обожженных при температуре °С окатышей, кг/окатыш				
	Руда	Глина	Кварцевый песок	сырых	сухих	1000	1100	1150	1200	1250
1	100	–	–	1,35	5,25	43,8	79,7	82,8	113,1	131,5
2	96	4	–	2,56	5,8	38,8	76	89	105	131,8
3	92	8	–	2,4	6,2	47	79	–	118	119
4	90,4	3,6	6	2,7	5,3	–	–	87,4	83,2	112
5	86,2	3,5	10,3	1,7	–	43,3	70,5	–	116,2	86
6	82,4	3,3	14,3	–	4,8	37,6	61	83,2	97,4	52,8
7	78,1	3,1	18,8	1,7	–	–	54	78,4	87,1	83,7
8	65,8	2,6	31,6	1,45	5,1	–	38,3	89	97,7	92,4

Для выявления технологических показателей окомкования измельченной сырой руды были проведены натурные эксперименты. Исходная руда измельчалась в мельнице сухого помола до крупности менее 0,1 мм. При этом ситовой состав полученной фосфоритной муки характеризовался цифрами, представленными в таблице 4.

Результаты опытов по окомкованию представлены в таблице 5.

При окомковании фосфоритовой муки с добавками глин, как и предполагалось, прочность сырых и сухих окатышей возросла. Однако в процессе обжига положительная роль глины как связующей и упрочняющей добавки не проявилась.

Существенное увеличение прочности окатышей как с глиной, так и без нее наблюдалось при температуре 1200–1250°С, то есть без появления расплава. Однако максимальная прочность не превысила 130 кг/окатыш.

Обожженные при температуре 1200–1250°С окатыши давали большую усадку, что связано с интенсивным разложением карбонатов, выделением двуокси углерода, образованием пор, которые заполнялись расплавом. Процесс декарбонизации снивелировал положительную роль глины [14]. При 1250°С происходило, кроме того, сплавление окатышей между собой.

Введение кварцевого песка вызвало уменьшение прочности сырых и сухих окатышей. Это объясняется тем, что квар-

цевый песок представляет собой инертную для процесса окомкования добавку. При обжиге в силу протекания процесса декарбонизации, уменьшения количества расплава окатыши с добавками кварцевого песка вспучивались, увеличивались в объеме, что в отдельных случаях приводило к их растрескиванию и разрушению [15].

Прочность обожженных окатышей в исследованном диапазоне по составу шихт не превысила 120 кг/окатыш, хотя отдельные образцы обладали прочностью до 200 кг/окатыш. Это может быть объяснено возможной сегрегацией, расслоением шихт на составляющие, при которых в потоке комкуемой смеси возникают зоны, обогащенные глиной и обедненные по содержанию кварцевого песка.

Для проверки полученных результатов проведена серия опытов на таблетках, результаты которых представлены в таблице 6.

Как видно из таблиц 5 и 6, результаты обжига окатышей и таблеток вполне сопоставимы.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что производство окатышей из сырой измельченной руды (фосмуки) без связующих, но с использованием глины или с введением кварцевого песка не может быть рекомендовано, так как не обеспечивает необходимой для технологии электровозгонки фосфора прочности окатышей, ведет к усложнению технологической схемы по сравнению с процессом агломерации.

Таблица 6

Результаты опытов по обжигу таблеток

№ п/п	Состав шихты, %			Прочность на сжатие обожженных при температуре °С таблеток		
	Руда	Глина	Кварцевый песок	1100	1150	1200
1	100	–	–	76,6	121,4	130,3
2	96	4	–	52,8	63,4	81,2
3	90,4	3,6	6	50,3	40,9	51,5
4	86,2	3,5	10,3	60,7	54,1	119,5
5	82,4	3,3	14,3	54,1	28,4	66,3
6	78,1	3,1	18,8	45,5	71,3	110,5
7	65,8	2,6	31,6	40,3	56,1	89,4

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследований гравия-галечника и кускового кварцита в качестве флюса в производстве желтого фосфора показали, что технология производства желтого фосфора требует обязательного использования кварцитосодержащего сырья. В некоторых природных фосфатных рудах двуокись кремния присутствует в их составе в значительных количествах. В этом случае расход кварцита при плавке может быть невысоким. В исследуемой руде и концентрате содержание диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  составляет не более 2%, а оксида кальция  $\text{CaO}$  – 51–57%. Для связывания этого количества оксида кальция  $\text{CaO}$  в различные силикаты, составляющие основу шлака, необходимо вводить значительное количество кварцитного сырья, которое должно обладать кусковатостью, иметь высокое содержание диоксида кремния  $\text{SiO}_2$ , минимальное содержание примесей, обладать хорошими механическими свойствами и термической прочностью.

При агломерации и окомковании в отдельных случаях удается получить частично или полностью офлюсованный продукт. При этом расход кускового кварцита снижается до возможно минимального уровня.

Однако проведенные эксперименты по получению офлюсованных агломерата и

окавшей из исследуемого рудного сырья не дали положительных результатов. В силу этого для осуществления процесса электровозгонки, как показали расчеты, расход кускового кварцита составит от 5,6 до 7,3 т/т желтого фосфора. Как выяснилось, имеющийся рудник не обеспечит потребности завода в этом виде сырья. Поэтому проводились исследования по использованию в качестве флюса гальки-гравия, которая имела гранулометрический состав, представленный в таблице 7.

Все фракции представлены кусками округлой окатанной формы, различающимися по окраске, то есть, как можно предположить, по содержанию примесей.

Для выявления возможных колебаний химического состава выполнен анализ рудного материала по фракциям и определен средний химический состав, представленный в таблице 8.

Из таблицы 8 видно, что по химическому составу различные фракции гальки достаточно стабильны по диоксиду кремния  $\text{SiO}_2$ , его содержание колеблется в диапазоне 81,7–84,1%.

Незначительны колебания и по содержанию других основных компонентов. Анализ руды выявил присутствие до 34 литолого-минералогических разностей. Их можно объединить в четыре основные группы.

Таблица 7

Гранулометрический состав гальки-гравия

мм	Менее 5	От 5 до 10	От 10 до 25	От 25 до 50	От 50 до 70	Более 70
%	0,17	0,74	49,7	29,76	14,09	5,54

Таблица 8

Химический состав гальки-гравия по фракциям

Фракция, мм	Содержание компонентов, %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	п.п.п.* 580°C	п.п.п.* 1000°C	Прочие
Более 50	84,4	2,1	4,9	0,3	1,3	0,2	1,2	3,9	3,0
(25; 50)	80,35	1,6	6,9	0,6	1,6	0,2	1,43	6,24	2,51
(10; 25)	82,32	3,35	4,8	0,32	2,24	0,2	1,7	4,2	2,57
(5; 10)	84,1	2,4	3,7	0,2	1,5	0,2	–	4,6	3,3
(0; 5)	81,7	1,7	5,5	0,5	2,1	0,4	–	4,5	3,6
Средняя	80,3	3,5	5,3	0,6	2,3	0,3	1,7	4,5	2,02

Примечание: п.п.п.\* – прочие продукты прокалики.

Таблица 9

Гранулометрический состав гальки-гравия под воздействием нагревания и механических нагрузок

Температура обжига, °С	Гранулометрический состав гальки-гравия после обжига и воздействия механических нагрузок, %						
	Более 70	От 50 до 70	От 25 до 50	От 10 до 25	От 5 до 10	Менее 5	Убыль веса
исходная	5,54	14,09	29,76	49,7	0,74	0,17	–
1000	–	0,76	18,98	43,38	15,18	21,69	3,8
1100	–	1,41	12,43	46,61	18,64	20,9	4,5
1200	–	–	11,14	49,33	18,37	21,16	4,5

1. Обломки интрузивной породы гранитоидного ряда, состоящие из α-кварца, альбита Na<sub>2</sub>Al Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub> и незначительного количества глинистых минералов: мусковита KAl<sub>2</sub>[AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>2</sub>, оксидов магния и алюминия 5MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, каолинита Al<sub>2</sub>[Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>](OH)<sub>4</sub>, санидина K(AlSi<sub>3</sub>)O<sub>8</sub>. Данная группа составляла в партии около 20% весовых.

2. Обломки кварца, халцедона белого и серовато-белого цвета, практически мономинеральных с небольшой примесью гематита. Эта группа является преобладающей и составляет около 50%.

3. Обломки различных осадочных кремнистых образований – силицитов. Состоят в основном из кварца, халцедона с небольшой примесью кальцита, хлорита, мусковита, гематита, гетита. Составляют в пробе 25% весовых.

4. Кальцит с небольшим количеством глинистых минералов.

При нагревании до температуры 1250°C в группах 1, 4 наблюдалось частичное оплавление минералов, что свидетельствовало о начале выделения расплава. В первую оче-

редь это связано с присутствием в группах глинистых составляющих.

Галька-гравий в исходном состоянии обладала удовлетворительной механической прочностью. После испытания по методу определения «барабанной пробы» выход мелочи менее 5 мм составил 2,5%. Галька-гравий отличалась и высокой термической прочностью. При нагревании и последующем испытании в барабане выход класс менее 5 мм равнялся 14–21%.

Изменения гранулометрического состава гальки-гравия под воздействием нагревания и механических нагрузок представлены в таблице 9.

Таким образом, галька-гравий может быть использована в производстве желтого фосфора. Однако она имеет следующие отрицательные стороны:

- невысокое содержание основного вещества – диоксида кремния SiO<sub>2</sub> (около 80%);
- значительное содержание примесей, в том числе потерь при прокаливании;
- низкая температура появления жидкой фазы.

Первые два обстоятельства приведут к увеличению расходных коэффициентов по ресурсным сырьевым источникам и электроэнергии, к возможному ухудшению качества фосфора, третий – к возможному образованию в нем спеков, появлению явлений обрушений шихты, повышению температуры под сводом рудотермической печи, увеличению пылеуноса, снижению мощности печи.

Исследовалась проба кускового кварцита. Химический анализ показал, что содержание двуокси кремния составляет в нем 96,9%. Остальные компоненты определены в следующих количествах:  $Al_2O_3$  – 0,15%,  $CaO$  – 0,5%,  $MgO$  – 0,2%,  $Fe_2O_3$  – 1,5%,  $P_2O_5$  – 0,07%, потери при прокаливании  $1000^\circ C$  – 0,31%, прочие – 0,17%. При рентгенографии усредненного образца установлено, что кварцит состоит практически из одного кварца. Кроме того, присутствуют лишь в незначительных количествах гематит и полевой шпат. Температура плавления кварцита лежит за пределами  $1500^\circ C$ . Поскольку кварцит был поставлен кусками, перед проведением экспериментов по исследованию его механических и термических свойств он был подвергнут дроблению. При этом отмечена его высокая прочность. Для получения сопоставимых результатов навески готовились из смеси двух классов: от 50 до 70 и от 25 до 50 мм. Выход мелочи

менее 5 мм после испытания в барабане исходного кварцита составил 6,25%, после нагревания при температуре  $1200^\circ C$  – 26,6%.

Таким образом, кусковой кварцит по химическому составу и физико-химическим свойствам является перспективным видом сырья для производства желтого фосфора. Его использование предпочтительнее гальки-гравия, так как позволит избежать тех недостатков, которые характерны для гальки-гравия.

Для уточнения модуля кислотности процесса электровозгонки фосфора при использовании гальки-гравия и кускового фосфорита проведены опыты по кинетике восстановления агломерата и окатышей. Модуль кислотности изменялся в пределах 0,7–1,1, а температура восстановления составляла  $1450$ – $1550^\circ C$ .

Экспериментально установлено, что оптимальный модуль кислотности для этих видов кварцсодержащего сырья равняется 1. Температура восстановления, при которой процесс протекает интенсивно, должна составлять не менее  $1500^\circ C$ . Выявлена более высокая реакционная способность гальки-гравия по сравнению с кварцитом. Время, необходимое для восстановления сырья до остаточного содержания оксида фосфора  $P_2O_5$  в шлаке 1,5%, сокращалось в 1,5–2 раза в зависимости от температурного уровня процесса  $1450$  или  $1500^\circ C$ .

Таблица 10

Основные расчетные показатели процесса электровозгонки фосфора с использованием в качестве флюса гальки-гравия

№ пп	Наименование показателей	Размерность	Варианты технологического процесса		
			Агломерат из сырой руды	Агломерат из концентрата	Окатыши из концентрата
1	Расходные коэффициенты на тонну фосфора в процессе электровозгонки:				
	агломерат	т/т	10,9	8,73	–
	окатыши	–	–	–	9,22
	кокс	–	1,73	1,65	1,68
	галька-гравий	–	8,26	6,48	6,42
2	Выход продуктов электровозгонки:				
	шлак	–	15,78	12,13	12,55
	фосфор	–	0,22	0,17	0,16
	печной газ	м <sup>3</sup> /т	3620	3330	3360
	коттрельная пыль	т/т	0,173	0,131	0,137
3	Расход электроэнергии на тонну фосфора	кВтч/т	17790	15820	15890
4	Производительность рудотермической печи	т/год	12044	13990	13930

На основании проведенных опытов выполнены расчеты материального и энергетического балансов процесса электровозгонки фосфора с использованием в качестве флюса гальки-гравия. Данные расчетов сведены в таблицу 10.

Из сопоставления показателей таблицы 10 следует, что использование гальки-гравия вместо кварцита приведет к увеличению расхода в процессе электровозгонки желтого фосфора: кокса – на 12–23%, гальки-гравия – на 25–28%, агломерата или окатышей – примерно на 2%. Выход шлака возрастет на 8–10%, печного газа – на 20–26%, расход электроэнергии – на 8–11%, что приведет к соответствующему снижению производительности рудотермической фосфорной печи.

### Выводы

В результате проведенной научной работы можно сделать следующие основные выводы.

1. Сырая руда исследуемого месторождения не может быть использована в технологии производства желтого фосфора при переработке ее по схеме: рудник → сортировка → обжиг куска → сортировка → рудотермическая печь – из-за низкой механической и термической прочности.

2. Кусковой кварцит пригоден для использования в качестве флюса в процессе электровозгонки желтого фосфора и обеспечит получение энергоресурсоэффективных показателей.

3. Установлена принципиальная возможность использования гальки-гравия в качестве флюсующей кварцсодержащей добавки. Однако невысокое, по сравнению с кусковым кварцитом, содержание диоксида кремния SiO<sub>2</sub>, физико-химические особенности гальки-гравия приведут к снижению производительности рудотермической фосфорной печи и к увеличению ряда расходных показателей, в том числе электроэнергии.

4. Сырая измельченная руда может быть окомкована с получением удовлетворительных по качеству сырых окатышей. Прочность же обожженных окатышей будет недостаточной, не превысит 150 кг/окатыш, что не позволяет рекомендовать этот технологический процесс для рассмотрения.

### Список литературы

1. Лыгач А.В., Лыгач В.Н. Фосфатно-сырьевая база России и ее роль в решении проблемы продуктов питания,

а, следовательно, продовольственной безопасности страны // Недропользование XXI век. 2022. № 3(95). С. 105–109.

2. Дли М.И., Пучков А.Ю., Прокимнов Н.Н., Окунев Б.В. Нечеткологическая модель многостадийной химико-энерготехнологической системы переработки мелкодисперсного рудного сырья // Прикладная информатика. 2023. Т. 18, № 3. С. 92–104. DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-3-92-104.

3. Орехов В.А. Математическое моделирование процессов образования шлама в рудно-термических печах при переработке фосфатного рудного сырья // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 7. С. 78-86. DOI: 10.17513/snt.39698.

4. Пучков А.Ю., Прокимнов Н.Н., Рысина Е.И., Шутова Д.Ю. Нейрорегулятор комплексной технологической системы переработки рудных отходов // Прикладная информатика 2023. Т. 18, № 5. С. 91–105. DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-5-91-105.

5. Пучков А.Ю., Дли М.И., Прокимнов Н.Н., Соколов А.М. Интеллектуальная модель управления рисками нарушения характеристик электромеханических устройств в многостадийной системе переработки рудного сырья // Прикладная информатика. 2023. Т. 18, № 1. С. 22–36. DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-1-22-36.

6. Пучков А.Ю., Дли М.И., Прокимнов Н.Н., Шутова Д.Ю. Многоуровневые алгоритмы оценки и принятия решений по оптимальному управлению комплексной системой переработки мелкодисперсного рудного сырья // Прикладная информатика. 2022. Т. 17, № 6. С. 102–121. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-6-102-121.

7. Орехов В.А., Бобков В.И., Быков А.А. Исследование особенностей высокотемпературных режимов обжига окомкованного рудного сырья, обогащенного свободным углеродом // Успехи современного естествознания. 2023. № 11. С. 174-179.

8. Бобков В.И., Никифоров В.А., Панченко С.В. Особенности гидродинамики и тепломассопереноса при активизации химико-энерготехнологических процессов восстановления в коксовой зоне рудотермической печи // Успехи современного естествознания. 2022. № 12. С. 148-154. DOI: 10.17513/use.37963.

9. Бобков В.И., Орехов В.А. Особенности методики определения теплофизических свойств фосфоритового агломерата // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 10-1. С. 59-63. DOI: 10.17513/snt.39346.

10. Бобков В.И., Орехов В.А. Исследование аэродинамики полифракционного слоя рудного сырья // Успехи современного естествознания. 2022. № 9. С. 67-72.

11. Орехов В.А. Цифровизированное многомасштабное моделирование тепло-технологических рудовосстановительных процессов в электротермической фосфорной печи // Энергобезопасность и энергосбережение. 2023. № 4. С. 31 – 35.

12. Vereykina E.K., Orekhov V.A. Study of Thermal Deformations in Iron ore Raw Materials at high Temperature Roasting // AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2999(1). P. 020050.

13. Borisov V., Bulygina O., Vereikina E. The use of co-evolutionary algorithms for optimizing the operating regimes of the roasting conveyor machine // Journal of Applied Informatics. 2023. Vol. 18. No. 3. P. 52-60. DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-3-52-60.

14. Иващук О.Д., Нестерова Е.В., Игрунова С.В., Федоров В.И., Иващук О.О., Каложная Е.В. Автоматизация оценивания эффективности усреднения товарного концентрата руды // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 10. С. 39-44. DOI: 10.17513/snt.39789.

15. Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Федина В.В. Определение комкуемости железорудной шихты с целью прогнозирования прочностных свойств окатышей // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 8. С. 53-57.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ МАЛЫХ РАЗРЕЗОВ ЯКУТИИ

Заровняев Б.Н., Шубин Г.В., Антоева С.П.

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск,  
e-mail: mine\_academy@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается открытая разработка месторождений в условиях криолитозоны, факторы усложняющие восстановление нарушенных земель – различные криогенные процессы, продолжительный зимний и короткий вегетационный период. Установлено, что в условиях криолитозоны продолжительность восстановления нарушенных земель весьма велика из-за того, что плодородный слой незначителен и его минерализации недостаточно для обильного произрастания растительности, что удлинняет процесс самовосстановления. Целью исследования является обоснование направлений трансформирования с последующей рекультивацией месторождений малых разрезов в условиях криолитозоны с суровой климатической средой и бедной растительностью. Методы исследования включают анализ масштабов экологического состояния земель при их открытой разработке, оценку путей их рекультивации. С этой целью произведен анализ способов вскрытия и системы разработки малых разрезов Якутии с внутренним и внешним отвалообразованием на основе изучения динамики коэффициентов вскрыши. Существующие технологии ведения открытых горных работ предусматривают выполнение восстановительных работ после полной отработки месторождения, системы разработки не предусматривают работы по производству технической рекультивации. Результатом работы является оценка параметров рекультивации выработанного пространства, отвалов разреза и их обязательное включение в проект разработки месторождения, учитывающий техническую рекультивацию, способы восстановления нарушенных земель. При этом предлагается использовать выработанное пространство в качестве водоемов, рекреационных зон, ледников, площадок для захоронения отходов с последующим их перекрытием вскрышными или другими породами.

**Ключевые слова:** криолитозона, малые разрезы, выработанное пространство, отвалы, трансформирование, рекультивация

## THE MAIN DIRECTIONS OF RECLAMATION OF DISTURBED LANDS OF SMALL OPEN-PIT MINES IN YAKUTIA

Zarovnyaev B.N., Shubin G.V., Antoeva S.P.

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk,  
e-mail: mine\_academy@mail.ru

**Annotation.** The article discusses open-pit mining of deposits in the permafrost zone, factors complicating the restoration of disturbed lands by various cryogenic processes, long winter and short growing seasons. It has been established that in the conditions of the cryolithozone, the duration of restoration of disturbed lands is very long due to the fact that the fertile layer is insignificant and its mineralization is not enough for the abundant growth of vegetation, which increases the process of self-healing. The purpose of the research is to substantiate the directions of transformation with subsequent reclamation of small-section deposits in the permafrost zone with a harsh climate and poor vegetation. The diversity of the landscape, mining and geological conditions, the technologies and development systems used, the influence of permafrost and geocryological conditions predetermine the methods for the further use of the transformed deposit in economic circulation. In this regard, the directions of transformation of deposits should be predetermined at the beginning of its development and included in the development project, which provides for the reclamation of disturbed lands. Research methods include analysis of the scale of the ecological state of lands during open-pit mining and assessment of ways for their reclamation. For this purpose, an analysis of the methods of stripping and the development system of small open-pit mines in Yakutia with internal and external dumping was carried out based on a study of the dynamics of stripping ratios. Existing open-pit mining technologies provide for restoration work after complete development of the deposit; due to the development system, they do not provide for technical reclamation work. The result of the work is an assessment of the parameters for the reclamation of mined-out space, mine dumps and their mandatory inclusion in the field development project, which takes into account technical reclamation and methods for restoring disturbed lands. At the same time, it is proposed to use the mined-out space to use the mined-out space as reservoirs, recreational areas, glaciers, waste disposal sites with their subsequent covering with overburden or other rocks.

**Keywords:** cryolithozone, small cuts, mined-out space, dumps, transformation, reclamation

Республика Саха (Якутия) является крупнейшим регионом России, занимая 1/5 часть ее территории, и полностью находится в зоне распространения многолетней мерзлоты, а 40% территории республики находится в заполярной зоне с весьма су-

ровыми природно-климатическими условиями. Установлено, что возраст многолетне-мерзлых пород составляет от 0,5 до 2 млн лет. Характерным явлением многолетне-мерзлых пород является наличие деятельного слоя, промерзающего зимой и оттаи-

вающего летом на глубину от 1 м на севере до 3,5 м на юге республики. При этом продолжительность зимнего периода составляет около 9 месяцев, в течение которых приостанавливаются все процессы вегетации растительности. Кроме того, отрицательное влияние оказывают локальные факторы, такие как рельеф местности и отвалов, скудость растительности, бедность плодородного слоя, большое количество замерзшего льда, достигающего полного влагонасыщения мерзлых горных пород. Такие географические особенности региона предопределили направления развития экономики республики, в основном как горнодобывающей [1, 2], так как сельскохозяйственный уклад жизни в таких суровых природно-климатических условиях нерентабелен.

Интенсивное освоение месторождений полезных ископаемых в Республике началось с 2024 г. с освоения Алданских россыпей золота. В последующем начались разработки угольных месторождений, как Сангарское, Кангаласское, Джебарики, Хайнское, Нерюнгринское, которые повлекли серьезные нарушения экосистемы.

За период освоения многочисленных месторождений в течение более чем 100 лет на территории Республики нарушены огромные территории без соответствующей технологической и биологической рекультивации. Эти территории оставались на «самоизлечение», самозаращение и фактически являются заброшенными [3]. Также одной из причин является ограниченное финансирование рекультивации нарушенных земель. В ходе разработки месторождения на всей территории земельного участка удаляется плодородный почвенно-растительный слой, защищающий нижележащие породы от таяния мерзлоты, термоэрозии, термокарста, солифлюкции, выпучивания и вымораживания. Эти явления многократно увеличивают масштабы техногенного воздействия на ландшафт и создают масштабный экологический дисбаланс не только на территории разрабатываемого месторождения, но и на окружающую среду за зонами горных и земельных отвалов. Таким образом, отсутствие должного внимания на восстановление нарушенных земель приводит к нарушению экологического состояния целого региона, что грозит дальнейшим углублением негативных последствий разработки месторождений, не только нарушением ландшафта, но и расширением радиационного фона, пылеобразованием обнаженных поверхностей ка-

рьерного поля, отвалов, технологических дорог и площадок. С целью уменьшения негативного влияния горных работ на ранимую северную территорию с малой продуктивностью биоценозов, замедленным биологическим круговоротом растительности и весьма ранимой природой необходимы технологии и проекты с одновременной рекультивацией нарушенных земель.

Значительные нарушения ландшафта приходится на разработку кимберлитовых трубок, угольных и россыпных месторождений открытым способом [4]. Если карьеры кимберлитовых трубок невозможно восстанавливать, выработанные пространства малых угольных разрезов имеют определенные перспективы для рекультивации. В связи с этим в работе рассматриваются основные направления рекультивации нарушенных земель малых угольных разрезов.

Обширная территория Якутии и бездорожье благоприятствуют развитию малых угольных разрезов на местах потребления углей. Уголь входит в тройку основных энергетических полезных ископаемых. В настоящее время, несмотря на общую тенденцию снижения доли добычи угля в связи с расширением использования газа в топливно-энергетическом комплексе, малые разрезы Якутии добывают львиную долю угля для обеспечения тепла и электроэнергии.

В дореволюционные годы и в период социалистического развития страны вопросы о рекультивации не ставились остро в связи с отсутствием такой службы. Экологические аспекты освоения месторождений были сформулированы позднее, когда за многие годы разработки месторождений произошло накопление громадных территорий, нарушенных горными работами, и с каждым годом с увеличением масштабов добычи полезных ископаемых их площади растут. В настоящее время площади нарушенных земель, масштабы загрязнения ежегодно растут, с увеличением объемов горных работ, приумножая и создавая проблемы сельского и лесного хозяйства, организации отдыха населения, загрязнения окружающей среды, загрязнения запасов грунтовых и пресных вод. Изложенное требует выработки стратегии использования земельных ресурсов, в первую очередь при освоении богатств недр, что делает обоснование основных направлений рекультивации нарушенных земель малых разрезов в криолитозоне актуальной научно-технической задачей.

В республике горнодобывающая промышленность является основной отраслью,

где добываются различные энергоресурсы, драгоценное сырье, руды и другие полезные ископаемые с масштабным воздействием на экосистему всего региона [5–7], влияние которых сводится к загрязнению земель, воздуха, водных ресурсов, осаждение вредных примесей при обогащении, нарушение мерзлотного баланса в районе разработки месторождения (оттайки, нарушение гидрологического режима). Наиболее масштабными нарушениями характеризуются открытые горные работы с обширными выработанными пространствами, отвалами и технологическими площадками и дорогами, остающимися на долгие годы без какой-либо защиты от нарушения мерзлотно-гидрогеологического равновесия, загрязнения воздушного пространства и водных ресурсов. Снятие плодородного слоя, защищавшего мерзлоту от таяния, приводит к ее деградации и является причиной появления деформаций откосов карьеров, отвалов, образования провалов. Кроме того, это является причиной подкисления и засоления почв и водных ресурсов, а также обезвоживания плодородного слоя почвы на территориях разработки месторождений [8, 9]. Снижение такого негативного влияния горных работ на окружающую среду возможно только при неукоснительном соблюдении требований экологической безопасности при землепользовании.

При существующих технологиях разработки месторождений минимизации нарушения земельных ресурсов можно достичь при жестком нормировании удельного нарушения земельных отвалов на единицу добытого сырья. Следующим перспективным направлением является использование технологий горных работ с одновременной рекультивацией нарушенных земель, внутреннего отвалообразования, сокращением продолжительности процесса рекультивации, обязательное сохранение почвенно-растительного слоя на время разработки месторождения [10–12].

Цель исследования – определить основные направления трансформирования месторождений малых угольных разрезов с учетом мерзлотно-геокриологических условий, сурового климата и бедной растительности.

При анализе масштабов нарушения земель при их открытой разработке и возможности их рекультивации в данной работе приняты во внимание способы вскрытия и системы разработки месторождений с дислокацией отвалов с учетом коэффи-

циентов вскрыши малых разрезов Якутии. Как известно, восстановление нарушенных земель должно быть взаимосвязано с технологией ведения горных работ, однако, как показывает практика выполнения этих работ, восстановительные работы проводятся, как правило, после полной отработки месторождения и не включаются в общий технологический процесс. На начальном этапе разработки месторождения, как правило, в эти работы входят выемка, складирование и хранение плодородных слоев почвы, пригодных для рекультивации нарушенных земель, подготовки отвалов, инженерной подготовки восстанавливаемого карьерного поля, нанесение почвы на выровненную поверхность отвалов, технологических дорог и площадок, карьерного поля. Стадия восстановительных работ должна включать выполаживание откосов карьеров, отвалов, дамб и плотин, восстановление естественных водоемов, восстановление растительного покрова и повышение его плодородия, выполнение инженерно-строительных и гидротехнических объектов, строительство зон отдыха и другие работы. Основные направления технологии рекультивации нарушенных земель в условиях криолитозоны представлены в работах [13–15].

Малые угольные разрезы Якутии характеризуются значительными коэффициентами вскрыши, системами с внутренним и внешним отвалообразованием, что значительно расширяет зону нарушений и усложняет работы по их восстановлению. В связи с этим для их разработки необходимо корректировать способы вскрытия, системы разработки и их технологические параметры. При этом принятые системы и технологические параметры разработки должны соответствовать следующим требованиям для обеспечения экологической безопасности:

- с учетом горно-геологических условий для малых угольных разрезов предпочтительны варианты систем с внутренним отвалообразованием для уменьшения их землеемкости;

- при разработке месторождений должны быть учтены такие факторы, как продолжительность пребывания откосов карьеров и отвалов в обнаженном состоянии, для того чтобы их минимизировать;

- формирование карьерного поля и конструкция отвалов вскрыши должно отвечать требованиям технологии рекультивации после его полной разработки согласно принятому направлению дальнейшего использования земель после их восстановления;

– проект разработки месторождения должен учитывать рекультивацию нарушенных земель, и технология рекультивации должна быть заложена в проект разработки месторождения.

Благодаря горизонтальному и пологому углу падения, к этим требованиям наиболее подходят малые разрезы Якутии: углы падения месторождений горизонтальные или пологие, небольшие коэффициенты вскрыши, преимущественно приняты системы с внутренним отвалообразованием. Большинство разрезов предусматривают внутреннее отвалообразование, наибольшую долю площади рекультивации составляют именно внутренние отвалы, занимающие 65–75%. Однако при большой мощности продуктивного пласта (Кировский, Харбалахский разрезы), объем пород недостаточен для заполнения выработанного поля разреза. Поэтому используются различные технологии заполнения выработанного пространства для полной рекультивации. Например, льдопородная закладка карьерного поля, с принятием последующих мер, исключаящих их оттайку после рекультивации нарушенной поверхности. При этом формирование отвалов должно быть с учетом мерзлотно-гидрогеологических условий месторождения и должно исключать оттайку их основания для предотвращения деформации и устойчивости массива. Для этого льдопородная закладка, заложенная в основание отвала для заполнения выработанного пространства, должна быть сохранена теплоизолирующим слоем достаточной толщины.

Горно-геологические условия малых разрезов благодаря малой мощности вскры-

ши, горизонтальному и пологому залеганию пластов способствуют применению внутреннего отвалообразования и бестранспортных систем разработки. Так, для Куларского, Белогорского, Кемпендяйского, Краснореченского, Надеждинского, Харбалахского месторождений применены сплошные однобортовые поперечные и продольные системы разработки с внутренним отвалообразованием. Междупластья Кангаласского, Кировского, Харбалахского месторождений разрабатываются карьерным экскаватором по транспортной схеме и бульдозером с вывозом пород вскрыши во внешние отвалы. Для Зырянского, Денисовского, Чульмаканского, Олонгринского и Джебарики-Хаинского месторождений применены углубочно-сплошные поперечные и продольные системы разработки с внутренним отвалообразованием.

Анализ систем разработки малых разрезов показывает, что в основном используются сплошные системы разработки с частичным, внешним и внутренним отвалообразованием (рис. 1). Это позволяет значительно сократить площади нарушаемых земель и облегчает их рекультивацию.

Опыт разработки горизонтальных и пологих месторождений с внутренним отвалообразованием в условиях криолитозоны показывает возможность уменьшения рабочей зоны карьера, которая является основным фактором, определяющим величину нарушаемой площади горными выработками и возможность их последующей рекультивации в процессе разработки месторождения, а также после завершения горных работ.

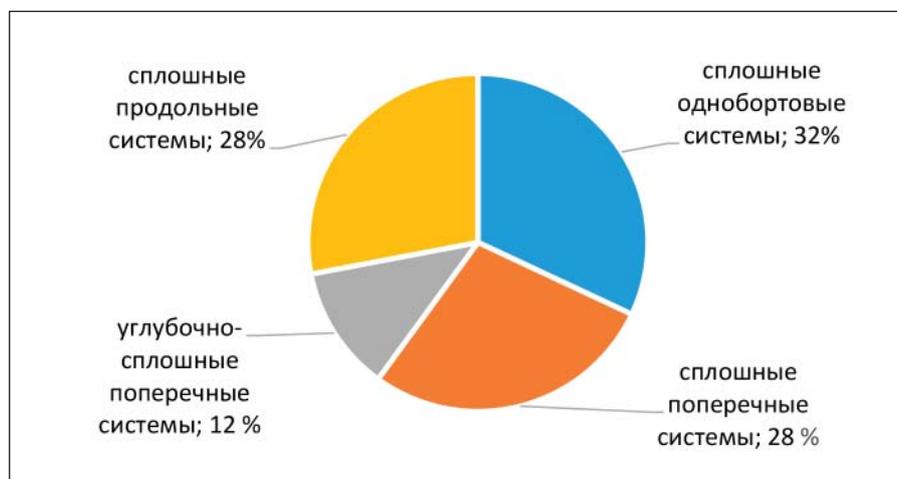


Рис. 1. Применяемые системы разработки малых угольных разрезов Якутии



*Рис. 2. Выработанные пространства карьеров «Харбалахский» и «Кангаласский»*

Таким образом, параметры рекультивации карьерного поля должны быть заложены в проект разработки месторождения с учетом способа рекультивации, ее стоимости, наличия благоприятных условий для тех или иных способов восстановления нарушенных земель. Это необязательно может быть биологическая рекультивация, так как в условиях криолитозоны биологическая рекультивация очень сложна и продолжительна. Поэтому нужно находить рациональное сочетание биологической, технологической и других направлений восстановления нарушенных земель. К последним относятся использование выработанного пространства в качестве водоемов, рекреационных зон, ледников, площадок для захоронения отходов с последующим их перекрытием вскрышными или другими породами.

Малые угольные месторождения Якутии преимущественно имеют горизонтальное или пологое залегания, выработанное

пространство карьеров представляет собой яму, заполнение которой возможно только при внутреннем отвалообразовании. Если такая система разработки не была заложена проектом, возникает проблема ее использования.

Как видно на рис. 2, выработанные пространства карьеров «Харбалахский» и «Кангаласский» представляют собой ямы. На карьере «Харбалахский» часть вскрыши представлена песчано-гравийной смесью, которая используется в качестве строительного материала на отсыпке дорог, фундаментов. В результате породы вскрыши не хватает на полное заполнение выработанного пространства. В связи с этим было предложено заполнение выработанного пространства льдопородной смесью с предохранением от оттайки слоем пород вскрыши и использованием полученной площадки в качестве пастбищ. Подобные условия имеются на карьере Кангаласский,

Кировский, Зырянский, для которых следует разрабатывать индивидуальные технологии трансформирования месторождений.

Таким образом, последнее связано с извлечением полезного ископаемого в процессе разработки месторождения, последующим восстановлением выработанного пространства, отвалов и превращением отработанного месторождения в другой объект народного хозяйства, что связано с трансформированием месторождения.

Термин «трансформирование месторождения» означает его разработку для физического извлечения полезного ископаемого с последующей рекультивацией выработанного пространства, отвалов, технологических площадок и дорог для дальнейшего использования месторождения в других целях [16–18]. При этом с учетом горно-геологических условий, технологии разработки, применяемых систем и методов рекультивации нарушенных земель определяется метод рекультивации: биологическая или рекреационная рекультивации.

Разнообразие ландшафта, горно-геологических условий, применяемых технологий и систем разработки, влияние мерзлотно-геокриологических условий определяют способы дальнейшего применения трансформированного месторождения в хозяйственный оборот. В связи с этим направления трансформирования месторождений должны предопределяться в начале его разработки и закладываться в проект разработки, предусматривающий рекультивацию нарушенных земель.

### Выводы

1. Горно-геологические условия малых угольных разрезов Якутии благоприятствуют применению наиболее щадящих систем с внутренним отвалообразованием, однако проблема рекультивации нарушенных земель осложняется особыми мерзлотно-геокриологическими условиями, суровым климатом и бедным растительным слоем почвы.

2. Разнообразие ландшафта, горно-геологических условий, применяемых технологий и систем разработки, влияние мерзлотно-геокриологических условий определяют способы дальнейшего применения трансформированного месторождения в хозяйственный оборот. В связи с этим направления трансформирования месторождений должны предопределяться в начале его разработки и закладываться в проект разработки, предусматривающий рекультивацию нарушенных земель.

### Список литературы

1. Черный М.Р. Особенности землепользования на участках, подверженных негативному влиянию разработки недр // Молодой ученый. 2019. № 17 (255). С. 18–20. URL: <https://moluch.ru/archive/255/58415/> (дата обращения: 14.02.2024).
2. Зеньков И.В., Нефедов Н.Б., Морин А.С., Киришина Е.В., Вокин М.Н., Веретенова Т.А., Кондрашов П.М., Павлова П.Р., Брежнев Р.В. Технология рекультивации земель при разработке угольных месторождений в северных регионах России // Уголь. 2020. № 4. С. 62–67. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-4-62-67.
3. Крючков В.В. Необходимость и возможность рекультивации нарушенных земель на Севере // Доклады 2 международной конференции «Освоение Севера и проблема рекультивации. Сыктывкар, 1994. С. 23–32.
4. Андроханов В.А. Проблемы рекультивации северных территорий // Успехи современного естествознания. 2012. № 11–1. С. 28–31.
5. Харионовский А.А., Франк Е.Я. Обоснование горно-технической рекультивации по созданию культурного ландшафта в карьере по разработке глизей // Уголь. 2018. № 2. С. 100–102. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-2-100-102.
6. Strunk S., Houben B., Krudewig W. Controlling the Rhenish opencast mines during the transition of the energy industry // World of Mining – Surface & Underground. 2016. Vol. 68 (5). P. 289–300.
7. Ohsowski B.M., Dunfield K., Klironomos J.N., Hart M.M. Plant response to biochar, compost, and mycorrhizal fungal amendments in post-mine sandpits // Restoration Ecology. 2018. Vol. 26. P. 63–72.
8. Fernandes K., Van der Heyde M., Bunce M. DNA metabarcoding – new approach to fauna monitoring in mine site restoration // Restoration Ecology. 2018. Vol. 26, Is. 6. P. 1098–1107.
9. Lanterman J., Goodell K. Bumble bee colony growth and reproduction on reclaimed surface coal mines // Restoration Ecology. 2018. Vol. 26. P. 183–194.
10. Андроханов В.А. Проблемы рекультивации Северных территорий // Успехи современного естествознания. 2012. № 11–1. С. 28–31.
11. Горохов А.Н., Иванов В.В., Кудинова З.А., Петров А.А. Оценка степени техногенного воздействия на природные комплексы Верхоянского района Республики Саха (Якутия) // Горный журнал. 2016. № 9. С. 109–114.
12. Jin L.I., Tong Tong Zhang, Wen Yang, Yu Zhang. The environmental impact of mining and its countermeasures // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 63. № 04010. DOI: 10.1051/mateconf/2016630.
13. Zarovnyaev B.N., Shubin G.V., Budikina M.E., Sobakina M.P., Danilov A.A. Estimation of the efficiency of disturbed land reclamation // 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. 371–378. DOI: 10.5593/sgem2021/1.1/s03.050.
14. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Галченко Ю.П., Калабин Г.В. Технологическое обеспечение экологической стратегии освоения минеральных ресурсов в криолитозоне // Горный журнал. 2019. № 7. С. 39–44.
15. Perti R., Stein W., Dahmen D., Buschhut K. Sustainable follow-up use of recultivated surfaces // World of Mining – Surface & Underground. 2013. Vol. 65 (2). P. 92–101.
16. Ракишев Б.Р. Новые определения естественного и трансформированного месторождения полезного ископаемого и этапы их эксплуатации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 8. С. 165–177. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_8\_0\_165.
17. Шеломенцев И.Г., Славиковская Ю.О. Классификация техногенных пустот недр с учетом направления использования ресурсного потенциала для целей экологической реабилитации территорий горнопромышленного комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 12. С. 127–140. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-127-140.
18. Ракишев Б.Р. О ключевых понятиях разработки полезных ископаемых и их взаимосвязях // Горный журнал. 2021. № 10. С. 84–89. DOI: 10.17580/gzh.2021.10.08.

УДК 628.161 (282.256.163.3)  
DOI 10.17513/use.38238

## ОЧИСТКА ПРИРОДНОЙ ВОДЫ РЕКИ ТУРА

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

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

**Аннотация.** Исследовали природную воду р. Тура в устье р. Тюменка. Цель исследования – выбор наиболее эффективных коагулянтов и флокулянтов в определенных дозах для очистки воды р. Тура (в устье р. Тюменка) от взвешенных и коллоидных частиц, общего железа с последующей доочисткой методом динамической сорбции. В процессе работы были применены следующие методики: определения физических и химических показателей качества исходной воды, определения мутности, исследования эффективности различных доз коагулянта и флокулянтов, определения содержания железа в природной воде, проведения процесса коагулирования и флокулирования, проведения сорбционной доочистки. Были изучены и применены: коагулянт – Аква-Аурат 30, флокулянты – Praestol 2531 TR, Praestol 650 TR, Flopam FO 4140 SH, полиакриламид,  $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (жидкое стекло), сорбент марки КФГМ-7. Данный эксперимент позволил выявить оптимальные дозы коагулянта  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и флокулянтов Praestol 2531 TR, Praestol 650 TR, Flopam FO 4140 SH, полиакриламида, жидкого стекла, максимально снижающих концентрацию общего железа и мутности до величин, соответствующих санитарным правилам и нормам. Результаты исследования в дальнейшем могут быть использованы для очистки воды на водоочистных сооружениях.

**Ключевые слова:** природная вода, коагулянт, флокулянт, доза, мутность, оптическая плотность, содержание железа, сорбция

## PURIFICATION OF NATURAL WATER OF THE TURA RIVER

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

Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: galinakachalova@mail.ru

**Annotation.** The natural water of the Tura River at the mouth of the Tyumenka River was studied. Purpose of the study: selection of the most effective coagulants and flocculants in certain doses to purify the water of the Tura River (at the mouth of the Tyumenka River) from suspended and colloidal particles, total iron, followed by post-purification by dynamic sorption. During the work, the following methods were used: determining physical and chemical indicators of source water quality, determining turbidity, studying the effectiveness of various doses of coagulant and flocculants, determining the iron content in natural water, carrying out the coagulation and flocculation process, and carrying out sorption post-treatment. The following were studied and used: coagulant – Aqua-Aurat 30, flocculants – Praestol 2531 TR, Praestol 650 TR, Flopam FO 4140 SH, polyacrylamide,  $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (liquid glass), sorbent brand KFGM-7. This experiment allowed us to identify the optimal doses of the coagulant  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  and flocculants: Praestol 2531 TR, Praestol 650 TR, Flopam FO 4140 SH, polyacrylamide, liquid glass, which maximally reduce the concentration of total iron and turbidity to values that comply with sanitary rules and regulations. The results of the study can be used in the future for water purification at water treatment plants.

**Keywords:** natural water, coagulant, flocculant, dose, turbidity, optical density, iron content, sorption

Город Тюмень снабжается питьевой водой из двух водозаборов: 40% – вода из подземных источников Велижанского водозабора и 60% – вода Метелевского водозабора, источником для которого служит р. Тура. Тура – самый длинный приток р. Тобол (1030 км), берет начало на восточном склоне Среднего Урала.

В створах Тюмени качество воды соответствует классу «чрезвычайно грязная». В р. Тура со стоками металлургических предприятий Свердловской области поступают свинец, олово, кадмий, хром, никель, медь, мышьяк, цинк. Содержание тяжелых металлов в 15–30 раз превышает ПДК. Содержание нефтепродуктов превышает ПДК в 10–30 раз [1].

Исследовали природную воду р. Тура в устье притока Тюменки. Издавна Тюменка была полноводной рекой с кристально чистой водой. По данным истории на левом берегу Тюменки была построена татарская крепость Чимги-Туру, а затем на высоком мысу между Турой и Тюменкой был возведен русский острог. Загрязнять Тюменку начали очень давно: в XIX в. – навозом, падалью, мусором; позже – мазутом со стороны железной дороги; с обоснованием на берегу Тюменки завода пластмасс – химикатами, аналогично происходит сброс сточных вод в реку другими предприятиями. Вид Тюменки в наше время представлен на рис. 1, вода превратилась в зловонную жижу темного цвета, испорченную городскими нечистотами.



Рис. 1. Устье р. Тюменка

Цель исследования – выбрать наиболее эффективные коагулянты и флокулянты в определенных дозах для очистки воды р. Тура (в устье р. Тюменка) от взвешенных и коллоидных частиц, общего железа с последующей доочисткой методом динамической сорбции.

#### Материалы и методы исследования

Основываясь на предыдущих исследованиях в качестве коагулянта выбрали полиоксихлорид алюминия  $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$  торговой марки Аква-Аурат 30 (производитель ОАО «Аурат», г. Москва (Россия), пять флокулянтов, являющихся представителями разных типов [2, с. 43]. Анионный флокулянт Praestol 2531 TR, катионные флокулянты – Praestol 650 TR (производитель компания Solenis, г. Пермь (Россия)), Floпам 4140 SH (продукция компании SNF Floergert, Франция), полиакриламид-гель ПАА (производитель компания ХИМПЭК, г. Москва (Россия)) – амфотерный полиэлектролит, жидкое стекло  $Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$  (производитель ООО «ГИДРОПАРТНЕР», г. Екатеринбург (Россия)) – полиэлектролит анионного типа, представляющий собой водный раствор силиката натрия, содержащий 22,9–39%  $SiO_2$  и 8,6–14,6%  $Na_2O$ . Praestol 2531 TR – проявляет среднюю анионную активность, а Praestol 650 TR – среднюю катионную активность. Катионный флокулянт Floпам FO 4140 SH получают путем сополимеризации мономеров акриламида и метилхлорида – флокулянт с низкой и средней плотностью заряда. Флокулянты Floпам позволяют сократить дозировку коагулянтов, которые необходимы для дестабилизации

коллоидной смеси, значительно повышают уровень очистки вод. Выбор флокулянта (анионный или катионный) зависит от природы дестабилизированных частиц, которые присутствуют в воде [3].

Динамическая сорбционная доочистка проводилась с загрузкой сорбента КФГМ-7 (производитель ООО «Керамические сорбенты», г. Кыштым (Россия)) – керамического фильтрующего гранулированного материала, изготовленного из высококачественного каолина марки КАХ-2, который подвергается грануляции, дегидратации и специальной обработке.

В процессе работы были применены следующие методы и методики: методика проведения процесса коагулирования и флокулирования, метод измерения массовой концентрации общего железа и мутности (фотоколориметрический метод), метод динамической сорбционной доочистки на сорбенте марки КФГМ-7 [4].

#### *Методики определения физических и химических показателей качества исходной воды*

Для определения цветности был применен метод сравнительной оценки, выбор бихромат-кобальтовой шкалы обусловлен цветностью природных вод, характерной для заболоченных территорий Тюменской области [5, с. 22]. Прозрачность определяли методом шрифта – чтение стандартного шрифта через столб исследуемой воды [5, с. 23]. Плотность – ареометром [5, с. 17]. Общую жесткость – комплексометрическим титрованием Трилоном-Б синдикатором эриохромом черным в присутствии

аммонийной буферной смеси [5, с. 29]. Щелочность воды – титрованием соляной кислотой последовательно с индикатором фенолфталеином и метилоранжем [5, с. 32]. Общую кислотность – титрованием щелочью NaOH с индикатором фенолфталеином [5, с. 46].

#### *Методика определения мутности*

Был использован спектрофотометрический метод – ГОСТ Р 57164-2016. Измеряли оптическую плотность вод на фотометре ЗОМЗ КФК-3-01 при длине волны падающего излучения 530 нм с кюветами с толщиной поглощающего свет слоя 50 мм [6]. Оптическую плотность переводили в показатель мутности в связи с тем, что она не является показателем качества воды. Калибровочный график строили по стандартному образцу мутности (формазиновая суспензия) ГСО 7271-96.

#### *Методика исследования эффективности различных доз коагулянта и флокулянтов*

В 5 мерных цилиндров наливали по 250 мл исследуемой воды, в каждый из которых приливали мерной пипеткой различные объемы полиоксихлорида алюминия  $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$  торговой марки Аква-Аурат 30 и тщательно перемешивали, по истечении 5 мин добавляли рассчитанные дозы флокулянтов. Коагулянт готовился в виде 5% раствора, флокулянты – в виде растворов с концентрацией 0,1%. В течение 4 ч каждые 30 мин отбирались пробы на глубине ниже уровня жидкости на 3–5 см, с последующим измерением в каждой пробе значений оптической плотности. Оптическую плотность переводили в показатель мутности с помощью калибровочного графика, строились зависимости изменения оптической плотности (мутности) от времени с целью анализа.

#### *Методика определения содержания железа в природной воде*

Определение содержания общего железа и приготовление растворов для анализа было выполнено согласно ПНД Ф 14.1:2.50-96 [7]. Оптическую плотность полученных растворов измеряли на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ при фиолетовом светофильтре при длине волны 410 нм и кювете с толщиной оптического слоя 5 см. Массовую концентрацию общего железа находили по градуировочному графику, построенному автоматически на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ.

#### *Методика проведения сорбционной доочистки*

Процесс сорбции проводили в динамических условиях, в качестве сорбента использовали КФГМ-7. Для проведения исследования сорбционного процесса собрали установку, состоящую из стеклянной колонки, загруженной слоем адсорбента, емкости для слива фильтрата. Исходя из оптимальной скорости для фильтрации через сорбент КФГМ-7 – до 4 м/ч, задались скоростью капания 3,3 м/ч. Высоту загрузочного слоя выбрали, исходя из минимальной рекомендованной высоты – 0,7 м. Отбирались пробы исследуемой воды объемом 60 мл и пропускались через сорбент.

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

В табл. 1 представлены физические и химические показатели качества воды р. Тура в устье притока Тюменки.

Определены оптимальная доза коагулянта  $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$  торговой марки Аква-Аурат 30 и максимально возможное уменьшение оптической плотности воды. Выявлена оптимальная дозировка: 0,75 мл (150 мг/л). Результаты представлены на рис. 2.

**Таблица 1**

Физические и химические показатели исходной воды

Объект	Цветность, град.	Прозрачность, см	Запах, балл	Вкус, балл	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Жесткость, моль/л	рН	Щелочность, моль/л	Окисляемость, мг O <sub>2</sub> /л	Концентрация железа, мг/л
Река Тюменка	30	20	3	3	0,996	1,1	5,3	1,5	25	3,28

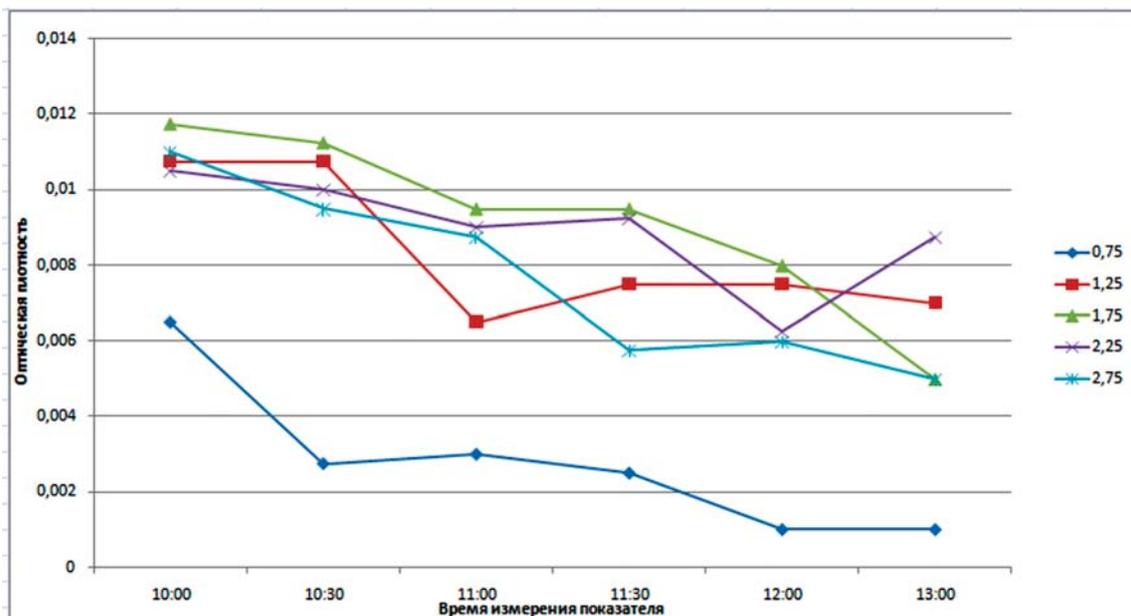


Рис. 2. Зависимость оптической плотности от времени отстаивания при добавлении коагулянта – Аква-Аурат 30

Для оптимальной дозы коагулянта оптическая плотность была переведена в показатель качества воды – мутность и составила 0,5 ЕФМ. Допустимое значение мутности для питьевых вод составляет 2,6 ЕФМ [8].

Для флокулянта Praestol 650 TR максимально возможное уменьшение оптической плотности вод наблюдается при следующих дозах: 0,625 и 0,750 мл. Для дозы Praestol 2531 TR 0,625 мл мутность составила 3,5 ЕФМ, 0,75 мл – 2 ЕФМ, показатель мутности для дозировки 0,75 мл находится в норме. Для флокулянта Praestol 2531 TR оптимальные дозировки: 0,25; 0,375 и 0,75 мл. Мутность для данных доз составила: 13,0; 12,0; 13,0 ЕФМ соответственно. Показатели мутности превышают норму в 4–5 раз, действие данного флокулянта неэффективно. Для флокулянта Flozam FO 4140 SH оптимальные дозировки – 0,25; 0,375 и 0,5 мл. Мутность для данных доз составила: 0,5; 3,0; 1,0 ЕФМ соответственно. Показатели мутности для дозы 0,25 и 0,5 мл находятся в норме. Для флокулянта полиакриламида оптимальные дозировки – 0,5 и 0,625 мл. Мутность для данных доз составила 12,0 ЕФМ. Показатели мутности для данных доз превышают норму в 4,6 раз, действие данного флокулянта неэффективно. Для флокулянта жидкое стекло ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) оптимальные дозировки – 0,25 и 0,625 мл. Мутность для данных

доз составила: 10 и 10,5 ЕФМ соответственно. Показатели мутности для данных доз превышают норму в 3,8–4 раза, действие данного флокулянта неэффективно.

Таким образом с точки зрения снижения мутности природной воды наиболее эффективными оказались флокулянт Praestol 2531 TR – доза 0,75 мл и флокулянт Flozam FO 4140 SH для дозировок 0,25 и 0,5 мл

Общее содержание железа в исходной воде составило 3,28 мг/л. Концентрация железа в воде для разных доз с добавлением коагулянта и различных флокулянтов представлена в обобщающих табл. 2, 3.

Были выбраны оптимальные дозировки реагентов на основании наилучших показателей изменения оптической плотности и наименьшей концентрации железа.

Таблица 2

Концентрация общего железа в воде с добавлением коагулянта Аква-Аурат 30

Дозировка, мл	Концентрация общего железа, мг/л
0,75	0,05
1,25	0,04
1,75	0,25
2,25	0,33
2,75	0,28

Таблица 3

Концентрация общего железа в воде с добавлением различных флокулянтов

Дозировка, мл	Концентрация общего железа, мг/л				
	Praestol 2531 TR	Praestol 650 TR	Flopam FO 4140 SH	ПАА	Жидкое стекло
0,25	0,17	0,14	0,13	0,14	0,19
0,375	0,18	0,13	0,25	0,14	0,19
0,5	0,16	0,17	0,27	0,16	0,21
0,625	0,16	0,14	0,29	0,14	0,2
0,75	0,13	0,09	0,3	0,19	0,19

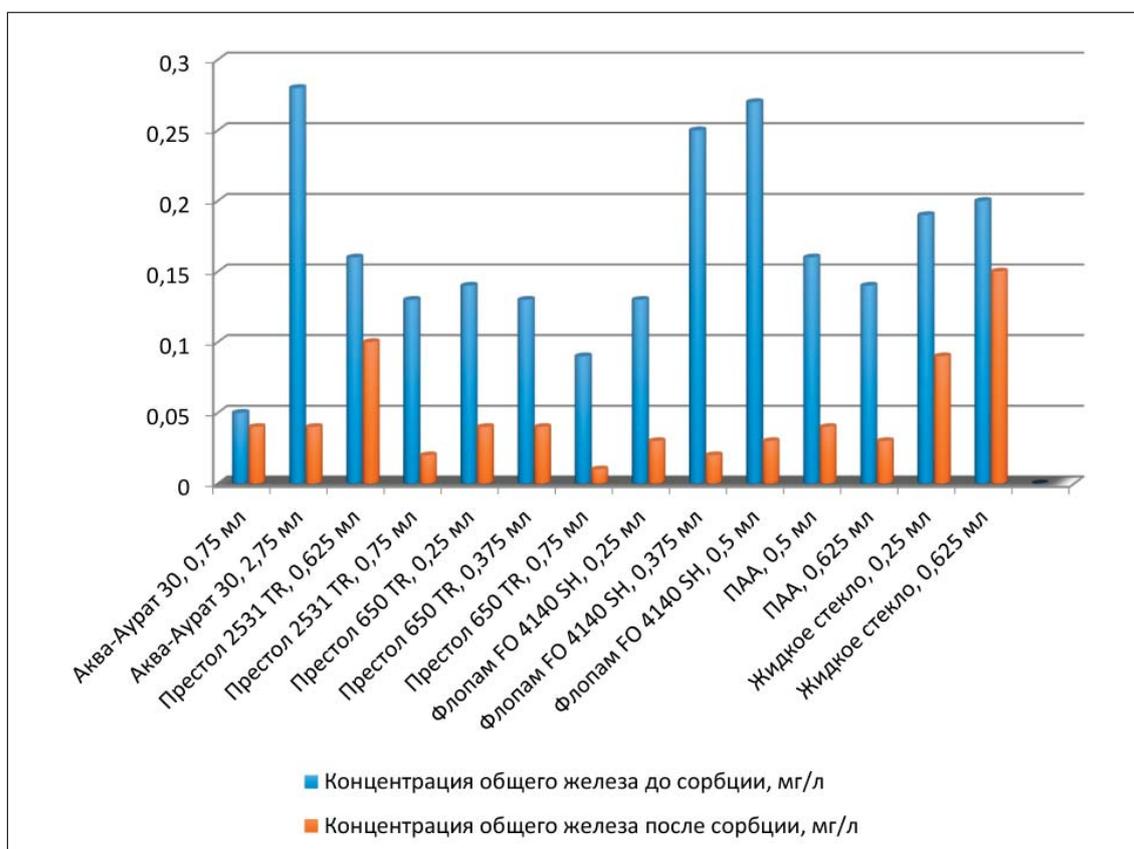


Рис. 3. Концентрации железа в воде до и после сорбционной очистки

Коагулянт Аква-Аурат 30, дозировка 0,75 мл. Флокулянты: Praestol 2531TR – 0,625 и 0,75 мл, Praestol 650 TR – 0,25; 0,375 и 0,75 мл, Flopam FO 4140 SH – 0,25; 0,375 и 0,5 мл, ПАА – 0,5 и 0,625 мл, жидкое стекло ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) – 0,25 и 0,625 мл.

Сорбционной доочистке подверглись только образцы с оптимальными дозировками. Отбирались пробы исследуемой воды объемом 60 мл и пропускались через сорбент, очищенная вода повторно измерялась на концентрацию железа и оптическую плот-

ность с дальнейшим переводом в показатель мутности. Сравнительные концентрации железа в исследуемых пробах воды до и после сорбционной очистки представлены (рис. 3).

Наглядно видно на диаграмме, какой реагент и при какой дозировке дал существенный результат. Незначительное изменение концентрации общего железа после сорбции показали флокулянт жидкое стекло (0,625 мл) и Praestol 2531 TR (0,625 мл). Максимальное снижение содержания общего железа показал флокулянт Praestol 650 TR (0,75 мл).

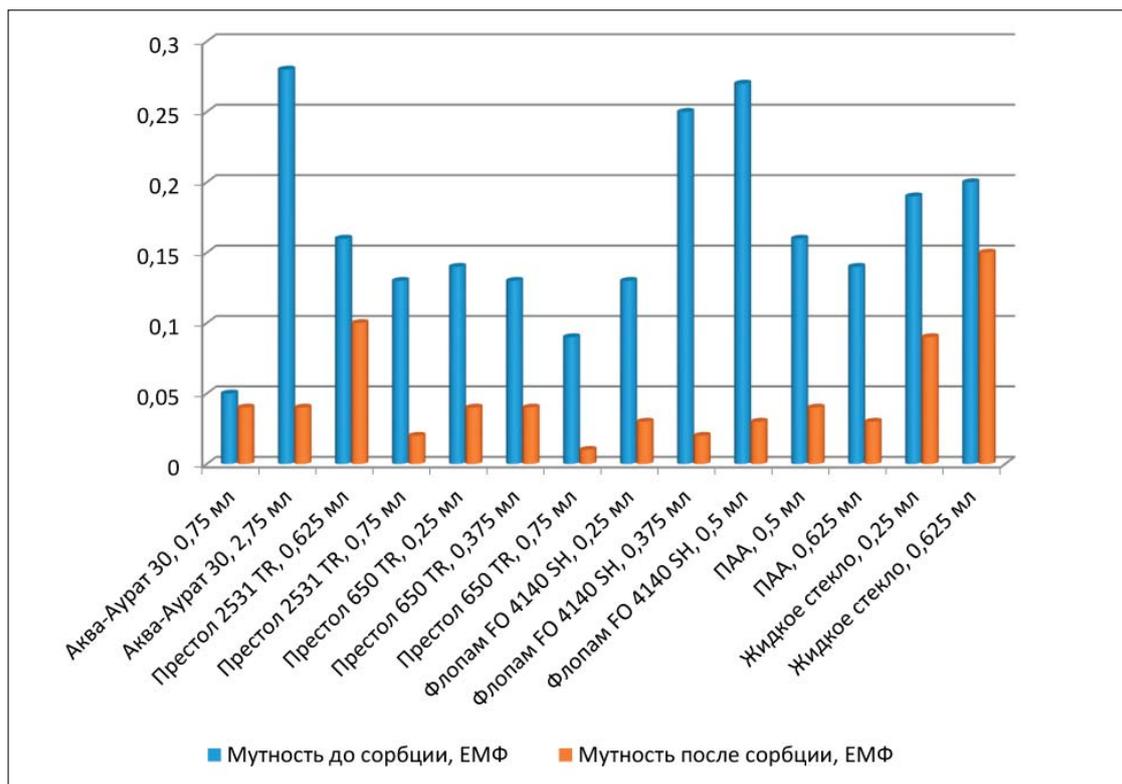


Рис. 4. Мутность воды до и после сорбции

Также сравнительная диаграмма составлена по показателю мутности (рис. 4).

Незначительное изменение по показателю мутности после сорбции показали флокулянты – жидкое стекло (0,625 мл) и Praestol 2531 TR (0,625 мл). Максимальное понижение мутности – Praestol 650 TR (0,75 мл).

### Заключение

На основании проведенных исследований с точки зрения понижения мутности природной воды наиболее эффективными после коагулирования с последующим флокулированием оказались следующие реагенты: коагулянт  $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$  доза – 0,75 мл, флокулянт Praestol 650 TR – доза 0,75 мл и флокулянт Flopam FO 4140 SH для дозировок 0,25 и 0,5 мл.

После сорбционной доочистки с точки зрения понижения мутности и содержания общего железа наиболее эффективными оказались: коагулянт Аква-Аурат 30 – 0,75 мл, флокулянты: Praestol 2531 TR – 0,625 и 0,75 мл, Praestol 650 TR – 0,25; 0,375 и 0,75 мл, Flopam FO 4140 SH – 0,25; 0,375 и 0,5 мл, ПАА – 0,5 и 0,625 мл, жидкое стекло ( $Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$ ) – 0,25 и 0,625 мл.

Максимальное снижение концентрации общего железа до 0,13 мг/л и мутности до

0,125 ЕМФ наблюдалось при введении флокулянта Praestol 650 TR – дозировкой 0,75 мл.

### Список литературы

1. Артеменко С.В., Петухова Г.А. Биозкологическое исследование воды урбанизированных участков реки Туры // Вестник Тюменского Государственного университета. 2013. № 12. С. 199–203.
2. Обзор рынка неорганических коагулянтов в России и Казахстане / ООО «ИГ «ИНФОМАЙН». 3-е изд. М.: Апрель, 2015. 134 с.
3. Бойкова Т.Е., Богданович Н.И., Мауричева Т.С. Применение флокулянтов в процессе водоподготовки // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2019. Т. 57, № 1. С. 91–101.
4. Михайлов Г.Г., Лонзингер Т.М., Морозова А.Г., Скотников В.А. Опыт использования неорганического композиционного сорбента для реабилитации природных объектов, загрязненных тяжелыми металлами // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 1. С. 50–57.
5. Качалова Г.С., Казанцева Е.Ю. Химия воды. Учебное пособие. Тюмень: ТИУ, 2019. 140 с.
6. ГОСТ Р 57164-2016. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности. М.: Стандартинформ, 2016.
7. ПНД Ф 14.1:2.50-96. Методика выполнения измерений массовой концентрации общего железа в природных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой от 20 марта 1995 г. // Официальный интернет-портал правовой информации, 1996.
8. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». Зарегистрирован в Минюсте России, 29.01.2021. № 62297. 66 с.

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ В 2022 ГОДУ

<sup>1</sup>Красильников П.А., <sup>1</sup>Аброськин О.Д., <sup>1</sup>Красильникова С.А.,  
<sup>2</sup>Ашихмин С.Г., <sup>2</sup>Батракова Г.М., <sup>3</sup>Тагильцев С.Н.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,  
Пермь, e-mail: chisp07@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь;  
<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург

**Аннотация.** Экзогенные геологические процессы на территории Пермского края имеют широкое развитие. В этом перечне карст занимает особое положение, так как этот процесс широко распространен и, кроме того, может служить катализатором сопутствующих опасных геологических процессов. В связи с чем под руководством министерства природных ресурсов Пермского края выполняется работа по оценке проявлений опасных геологических процессов в пределах урбанизированных закарстованных территорий региона. Целью задачи исследования является комплекс полевых и камеральных работ, позволяющий оценить последствия опасных геологических процессов на закарстованных территориях Пермского края для принятия соответствующих управленческих решений по минимизации негативного воздействия на объекты инфраструктуры и обеспечения безопасности населения в дальнейшем. Результаты этой работы за 2022 г. представлены в этой статье. Проводилось визуальное обследование форм проявлений опасных геологических и техногенных процессов. Осуществлялась фотофиксация проявлений опасных процессов с использованием современных цифровых фотоаппаратов. Пространственная привязка мест проявления опасных процессов осуществлялась с использованием GPS-приемников. Фиксация морфометрических характеристик объектов осуществлялась с помощью измерительной рулонной ленты и лазерного дальномера. Анализ количества происшествий в разрезе муниципальных и городских округов Пермского края показал, что больше всего событий приурочено к г. Кунгуру и Кунгурскому муниципальному округу.

**Ключевые слова:** опасные геологические процессы, провалы, карст, мониторинг геологических рисков, Пермский край

## RESULTS OF MONITORING OF DANGEROUS ENGINEERING-GEOLOGICAL PROCESSES ON THE TERRITORY OF PERM KRAI IN 2022

<sup>1</sup>Krasilnikov P.A., <sup>1</sup>Abroskin O.D., <sup>1</sup>Krasilnikova S.A.,  
<sup>2</sup>Ashikhmin S.G., <sup>2</sup>Batrakova G.M., <sup>3</sup>Tagiltsev S.N.

<sup>1</sup>Perm State National Research University, Perm, e-mail: chisp07@gmail.com;

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm;

<sup>3</sup>Ural State Mining University, Yekaterinburg

**Annotation.** Exogenous geological processes on the territory of Perm Krai have a wide development. Karst occupies a special position in this list, as this process is widespread and, in addition, can serve as a catalyst for associated hazardous geological processes. In this connection, under the guidance of the Ministry of Natural Resources of Perm Krai the work on assessment of manifestations of dangerous geological processes within the urbanized karst territories of the region is carried out. The target task of the study is a set of field and desktop works, allowing to assess the consequences of hazardous geological processes in the karst territories of Perm Krai to make appropriate management decisions to minimize the negative impact on infrastructure facilities and ensure the safety of the population in the future. The results of this work for 2023 are presented in the article. Analysis of the number of incidents by municipalities and urban districts of Perm Krai showed that most of the events were confined to the Kungur city and the Kungur municipal district.

**Keywords:** dangerous geological processes, failures, karst, monitoring geological risks, Perm kra

Экзогенные геологические процессы (ЭГП) на территории Пермского края имеют широкое развитие. Существует много классификаций геодинамических, геологических процессов и физико-геологических явлений, интересующих инженерную геологию. На основе наиболее распространенных классификаций Ф.П. Саваренского

(1937) и Е.М. Сергеева (1978) и учитывая специфику региона, можно выделить природные ЭГП, имеющие наибольшее распространение: ЭГП климатического и ветрового характера (выветривание, эоловые процессы); ЭГП геоморфологического (гравитационного) характера (осыпи, обвалы, курумы, оползни, солифлюкция, лавины);

ЭГП, связанные с действием преимущественно подземных вод (карст, суффозия, заболачивание); ЭГП, связанные с эродирующим действием поверхностных вод (речная, склоновая и овражная эрозии); ЭГП побережий камских водохранилищ (переработка берегов).

В этом перечне карст занимает особое положение, так как этот процесс широко распространен и, кроме того, может служить катализатором сопутствующих опасных геологических процессов. Карстом Пермского края занимались многие авторы [1, 2]. В связи с чем Министерство природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края с 2016 г., с привлечением подрядных организаций, осуществляет мониторинг проявлений опасных геологических процессов с выдачей рекомендаций по принятию необходимых мер для минимизации негативного воздействия.

Цель исследования – оценка проявлений опасных геологических процессов на закарстованных территориях Пермского края.

#### Материалы и методы исследования

Проводилось визуальное обследование форм проявлений опасных геологических и техногенных процессов. Основными оценочными параметрами явились: фиксация провалов, трещин, просадок, обрушений и прочих форм, возникших в результате проявлений опасных геологических и техногенных процессов с выявлением источников и причин активизации опасных геологических процессов [3, 4]. Осуществлялась фотофиксация и пространственная привязка мест с использованием современных цифровых фотоаппаратов и GPS-приемников. Морфометрические характеристики объектов изучались с помощью измерительной рулонной ленты и лазерного дальномера. На местах проявления опасных процессов проводился опрос сотрудников музея, сбор и анализ информации предшественников, опубликованных в открытой печати и находящихся в геологических фондах. По результатам комплексного анализа информации составлялись акты обследования с рекомендациями по ликвидации проявлений опасных процессов.

Сбор и систематизация зафиксированных проявлений опасных геологических процессов осуществлялись как в табличных редакторах (Microsoft Excel, облачные сервисы), так и с использованием современных ГИС-технологий. По результатам пространственной привязки зафиксированных про-

явлений опасных геологических процессов (ОГП), созданная ранее база геоданных в формате \*.mdb дополнялась новыми объектами. Кроме того, пространственное положение зафиксированных провалов также сохранялось в kmz-формате для использования в современных картографических онлайн-сервисах.

Следует отметить, что в данной работе приводятся не все проявления опасных геологических процессов, возникшие в 2022 г., а только те, которые расположены в пределах урбанизированных и закарстованных территорий.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В течение 2022 г. на урбанизированных закарстованных территориях Пермского края зарегистрированы и описаны четырнадцать провалов грунта, деформация здания, три случая подмыва берегов, оползание грунта и поглощение воды через понор, а также одно обмеление озера. Иллюстрация мест проявления опасных геологических процессов представлена на рис. 1.

Провалы грунта:

- карстово-суффозионный провал в г. Кунгур, ул. Степана Разина, 152. Провал вызван процессами, связанными с повреждением канализационного коллектора и утечкой стоков;
- карстовый провал в пос. Комсомольский Кунгурского МО, ул. Ленина, 3;
- карстовый провал в д. Усть-Телес Уинского МО, ул. Колхозная;
- карстовый провал на дороге д. Шалашная – д. Мутная Добрянского ГО;
- карстовый провал в с. Серга Кунгурского муниципального округа, ул. Набережная, 11;
- карстовый провал в с. Серга, 100 м к востоку от восточной окраины села и 200 м к западу от западной окраины д. Выползово Кунгурского муниципального округа;
- карстовый провал в г. Кунгуре Кунгурского муниципального округа, ул. Гоголя, 34;
- карстовый провал в г. Кунгуре Кунгурского муниципального округа, перекресток ул. Ситникова и ул. Свободы;
- карстовый провал в г. Кунгуре Кунгурского муниципального округа, ул. Карла Маркса, 23;
- карстовый провал на автодороге на водозабор «Черный исток», в 150 м от поля д. Заборье Добрянского городского округа;

### Карта-врезка г.Кунгура. Масштаб 1: 100 000

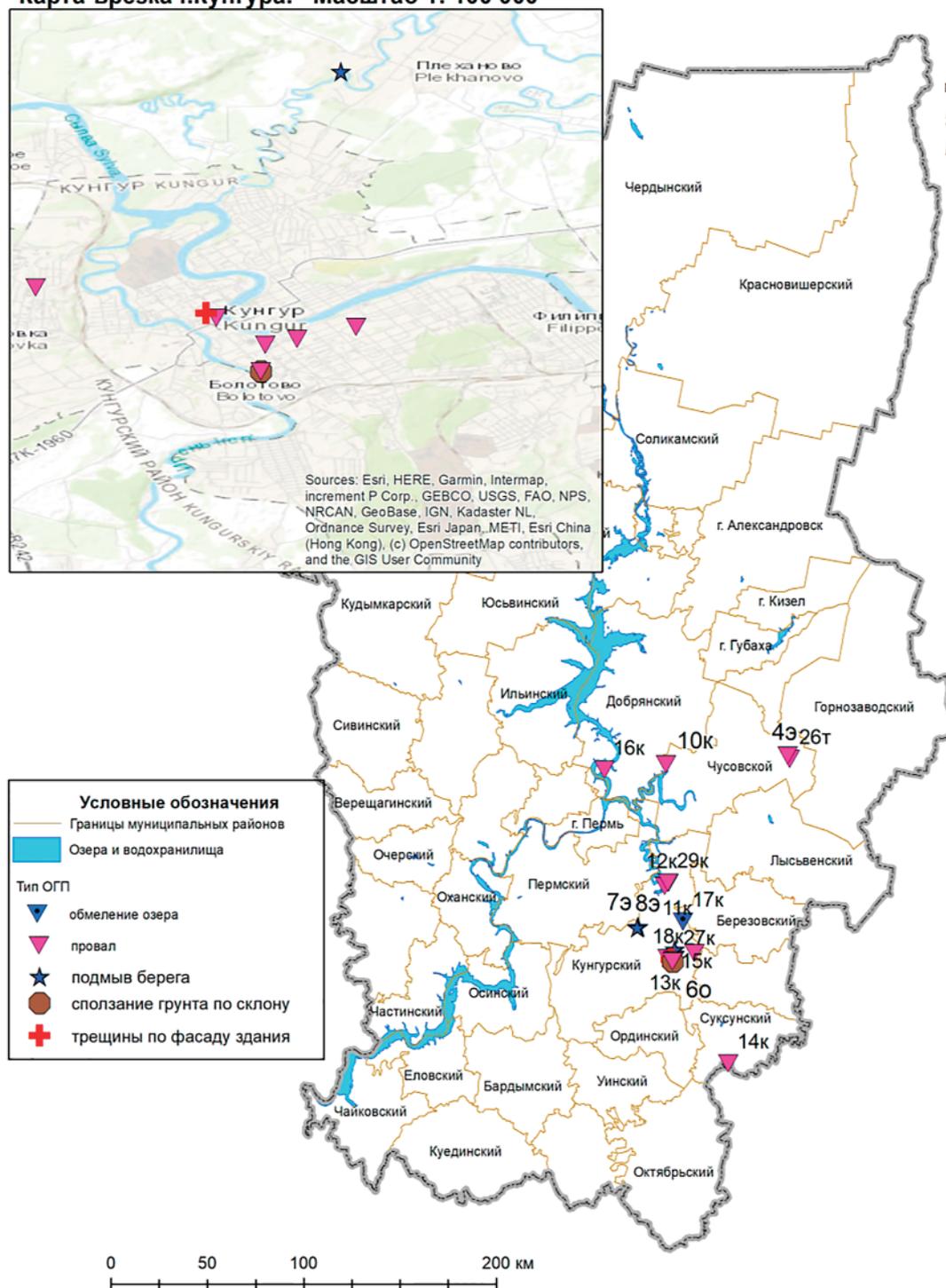


Рис. 1. Карта проявлений опасных геологических процессов, произошедших в 2022 г.

- карстовый провал в г. Кунгуре, ул. Газеты «Искра», 58;
- провал между поселками Скальный и Половинка Чусовского городского округа, техногенного происхождения;

- карстовый провал в г. Кунгуре Кунгурского муниципального округа, ул. Бочкарева, между домами 111 и 113;
- карстовый провал в с. Серга, 70 м к востоку от восточной окраины села и 230 м

к западу от западной окраины д. Выползово Кунгурского муниципального округа.

*Понор* по адресу пос. Скальный, ул. Лесная, 7. Поглощение воды через понор зафиксировано в пос. Скальный Чусовского ГО в зоне развития карбонатного карста у дома по адресу ул. Лесная, 7. Понор располагался в огороде позади жилого дома рядом с дренажной канавой, отводящей дождевые и талые воды от дома и хозяйственных построек. Со слов хозяев, в момент обнаружения понор на поверхности был диаметром около 20 см и уходил вглубь почти вертикально, поглощая всю воду, которая дренировалась по канаве. В глубину прослеживался на 1,5–2 м. Впоследствии понор с поверхности расширился до 40 см и был засыпан хозяевами перемятой глиной с утрамбовкой. На территории пос. Скальный на небольшой глубине непосредственно под четвертичными отложениями залегают известняки турнейского яруса каменноугольной системы, которые с поверхности выветрелые и имеют трещины, через которые поглощаются воды из вышележащих пород. Понор мог возникнуть над одной из таких трещин. В случае качественного тампонажа повторное появление понора маловероятно.

*Деформации здания.* В период с 19.06.2020 г. по 01.04.2022 г. на фасаде здания по адресу г. Кунгур, ул. Ленина, 46а, зафиксированы расширяющиеся вертикальные трещины, идущие с 1-го по 5-й этажи (рис. 2).



Рис. 2. Трещины на здании по состоянию на 12.05.2022 г.

Здание расположено в междуречье р. Сылва и р. Ирень в зоне развития активных карстовых процессов. Карстующиеся породы в пределах первой надпойменной террасы

залегают на глубине 20–25 м, их мощность до 25 м. В 40 м к северу от обследованного здания располагается карстовая котловина размером 90х30 м, заполненная водой. На крыше здания со стороны ул. Матросской смонтированы две вышки сотовой связи.

*Оползень.* 12 мая 2022 г. обследовано домовладение по адресу: г. Кунгур, ул. Ленина, 3а. На участке визуальны выявлены проявления склоновых эрозионных процессов и процесса сползания грунта. В геоморфологическом отношении исследуемое домовладение расположено в верхней части коренного склона долины р. Ирень, осложненного врезанным оврагом субмеридионального направления. В пределах огорода выполнено террасирование, что несущественно уменьшило крутизну склона. Ниже огорода крутизна увеличивается до 45°, что приводит к сползанию грунта по склону. Овраг восточнее участка значительно завален строительным и бытовым мусором, который тоже постепенно смещается вниз по склону. По южной границе участка проложена газовая труба на опорах, которая проведена к соседнему домовладению. Оползнеопасный склон, на котором в настоящий момент наблюдаются процессы смещения верхнего слоя грунта, представляет наибольшую опасность для газовой трубы (рис. 3).

*Подмывы берегов:*

- на р. Шаква в д. Плеханово;
- на р. Бабка в д. Ботово;
- на р. Бабка в д. Канабеково (повторно, ранее описано сотрудниками Горного института УрО РАН).

Все разрушения берегов с карстовыми процессами не связаны. Оползание берега зафиксировано в г. Кунгуре на правом берегу р. Ирени около дома по ул. Ленина, 3а. Вызвано гравитационными процессами, с карстом не связано.

*Обмеление озера.* Произошло в д. Гусево Кунгурского муниципального округа Пермского края.

Анализ количества происшествий в разрезе муниципальных и городских округов Пермского края показал, что больше всего событий приурочено к г. Кунгуру и Кунгурскому муниципальному округу – 16 происшествий. На территории Уинского муниципального округа – одно происшествие, а в Добрянском и Чусовском городском округах произошло по два чрезвычайных события. Исследованиям карста в Кунгуре посвящено много работ [5, 6].

## Зафиксированные ОГП на территории Пермского края в 2022 г.

№ акта	№ в БД	Описание	Вид проявления ОГП	Дата образования	Информация о ликвидационных мероприятиях
Территория Кунгурского муниципального округа					
1	1к	г. Кунгур, ул. Степана Разина, 152	провал	22.03.2022	Да
2	2к	пос. Комсомольский, ул. Ленина, 3	провал	11.04.2022	Да
3	3э	с. Плеханово, ул. Бродовская, 19	подмыв берега	04–05.2022	Нет
5	5к	г. Кунгур, ул. Ленина, 46а	трещины по фасаду здания	04.2022	Нет
6	6о	г. Кунгур, ул. Ленина, 3а	сползание грунта по склону	04–05.2022	Нет
7	7э	д. Канабеково, д. 64	подмыв берега	04–05.2022	Нет
8	8э	д. Ботово, ул. Центральная, 59	подмыв берега	04–05.2022	Нет
11	11к	с. Серга, ул. Набережная, 11	провал	18.06.2022	Да
12	12к	с. Серга, 100 м к востоку от восточной окраины и 200 м к западу от западной окраины д. Выползово Кунгурского муниципального округа	провал	16.06.2022	Нет
13	13к	г. Кунгур, ул. Гоголя, 34	провал	04.07.2022	Нет
14	14к	г. Кунгур, перекресток ул. Ситникова и ул. Свободы	провал	28.07.2022	Да
15	15к	г. Кунгур, ул. Карла Маркса, 23	провал	11.08.2022	Да
17	17о	д. Гусево	обмеление озера	26.08.2022	Нет
18	18к	г. Кунгур, ул. Газеты «Искра», 58	провал	05.09.2022	Да
27	27к	г. Кунгур, ул. Бочкарева, между домами 111 и 113	провал	22.10.2022	Да
29	29к	с. Серга, 70 м к востоку от восточной окраины и 230 м к западу от западной окраины д. Выползово Кунгурского муниципального округа	провал	22.11.2022	Нет
Территория Добрянского городского округа					
10	10к	участок дороги д. Шалашная – д. Мутная, по правой стороне грунтовой дороги от д. Шалашной до д. Мутной, в 400 м от д. Мутной	провал	27.05.2022	Да
16	16к	автодорога на водозабор «Черный исток», в 150 м от поля д. Заборье Добрянского городского округа	провал	16.08.2022	Да
Территория Чусовского городского округа					
4	4э	пос. Скальный, ул. Лесная, 7	провал	25.04.2022	Да
26	26ш	между пос. Скальный и пос. Половинка	провал	05.07.2022	Нет
Территория Уинского муниципального округа					
9	9к	д. Усть-Телес, на въезде в деревню по ул. Колхозной в 80 м от перекрестка рядом с вышкой сотовой связи	провал	27.04.2022	Да



Рис. 3. Место обследования по состоянию на 12.05.2022 г.

### Заключение

За анализируемый период авторами статьи зарегистрировано и описано четырнадцать провалов, одна деформация здания, проявившаяся в виде трещин на здании, три случая боковой эрозии, один оползень и возникновение одного понора, а также одно обмеление озера. Авторы считают, что важным этапом исследования является структурирование и накопление полученных результатов в удобном для дальнейшего анализа виде. Это позволит накопить достаточно большой массив данных в разрезе десятилетий и, вероятно, установить новые временные и пространственные закономерности возникновения опасных геологических процессов.

Поэтому все зафиксированные проявления опасных геологических процессов систематизировались как в табличных редакторах (Microsoft Excel, онлайн-таблицы, облачные сервисы), так и с использованием современных ГИС-технологий. По результатам пространственной привязки зафиксированных проявлений ОГП создается и ведется база геоданных в формате \*.mdb, с названием «ОГП\_Пермского\_края», информация из которой визуализируется средствами ArcGis 10.8 «Зафиксированные проявления ОГП.mxd».

Эта база данных содержит информацию об областях распространения карстующихся пород, топографическую основу и места проявления опасных геологических процессов. Каждый тематический слой содержит необходимую и достаточную атрибутивную информацию. Для классификации

зафиксированных объектов помимо номера проявления добавляется буквенный индекс, характеризующий тип опасного геологического процесса. Так, буквы «к» обозначают карстовый генезис, «с» – суффозионные процессы, «т» – техногенное происхождение. Кроме того, в этом тематическом слое содержится информация о местоположении акта проведенного обследования, что позволяет в режиме гиперссылки, при работе с картографическим материалом, при нажатии одной клавиши получить соответствующий этому событию акт обследования.

### Список литературы

1. Дробинина Е.В., Золотарев Д.Р. Анализ инженерно-геологических условий и изменчивости состояния дисперсных отложений вблизи поверхностных карстовых форм в обстановках развития карбонатно-сульфатного карста // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2022. № 2. С. 48–62.
2. Максимович Н.Г., Кадебская О.И., Мещерякова О.Ю. Уточнение границ районов сульфатного карста Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология. 2021. Т. 20, № 4. С. 320–325.
3. Красильникова С.А., Кустов И.В., Коноплев А.В., Таркин А.В., Аброськин О.Д. Карстоопасность территории архитектурно-этнографического музея «Хохловка» // Вестник Пермского университета. Геология. 2023. Т. 22, № 4. С. 324–332.
4. Худеньких К.О., Катаев В.Н. Карстовый морфогенез в приповерхностной зоне сульфатно-карбонатного массива Соколино-Саркаевского месторождения гипса и ангидрита // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. Т. 17, № 2. С. 171–176.
5. Катаев В.Н., Лихая О.М., Ковалева Т.Г., Золотарев Д.Р., Щербakov С.В. Пространственное соотношение химического состава вод иренского водоносного горизонта и карстовых форм (на примере территории г. Кунгура) // Вестник Пермского университета. Геология. 2009. № 11. С. 66–76.
6. Ковалева Т.Г. Оценка карстоопасности территории г. Кунгура на основе общегеологического подхода // Вестник Пермского университета. Геология. 2016. № 4 (33). С. 18–25.

УДК 691.41(571.56)  
DOI 10.17513/use.38240

## ПЕРЕРАБОТКА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПОЗИТ

Местников А.Е.

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,  
Якутск, e-mail: mestnikovae@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются способы переработки глинистого сырья в строительный композит. В основу изготовления прочного строительного композита из глинистых грунтов заложены обжиговая и безобжиговая технологии. Для отдаленных районов Севера практический интерес представляют безобжиговые технологии получения строительного композита вследствие доступности глинистого сырья и малой энергоёмкости производства. Древний строительный композит из самана широко применяется в южных странах. В условиях холодного климата России саман применяется в единичных случаях, в основном сторонниками экологического домостроения. Нами обоснована эффективность производства и применения глиносырцовых композитов в сельском строительстве. Полученные способом пластического формования стеновые изделия относятся к конструкционно-теплоизоляционным материалам: средняя плотность 800–1400 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие 1,0–3,5 МПа, коэффициент теплопроводности 0,18–0,44 Вт/(м×К). К основным недостаткам глиносырцовых композитов относится низкая водостойкость и размокаемость, что сильно ограничивает область их применения. Улучшенными свойствами обладают грунтоцементные композиты, полученные способом полусухого прессования: средняя плотность 1600–2030 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности на сжатие 14,10–14,10 МПа, коэффициент теплопроводности 0,47–0,70 Вт/(м×К), водопоглощение 11,0–28,0% и морозостойкость 10–55 циклов.

**Ключевые слова:** глинистые грунты, методы переработки, пластическое формование, полусухое прессование, строительный композит, прочность, теплопроводность

## PROCESSING OF CLAY SOILS INTO A BUILDING COMPOSITE

Mestnikov A.E.

North-Eastern Federal University named M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: mestnikovae@mail.ru

**Annotation.** The article discusses the ways of processing clay raw materials into a building composite. The basis for the manufacture of a durable construction composite made of clay soils is based on firing and non-firing technologies. For remote areas of the North, non-combustion technologies for the production of building composite are of practical interest, due to the availability of clay raw materials and low energy intensity of production. The ancient adobe building composite is widely used in southern countries. In the conditions of the cold climate of Russia, adobe is used in isolated cases, mainly by supporters of ecological housing construction. We have proved the efficiency of production and application of clay-raw composites in rural construction. The wall products obtained by plastic molding belong to structural and thermal insulation materials: an average density of 800–1400 kg / m<sup>3</sup>, a compressive strength of 1.0–3.5 MPa, a thermal conductivity coefficient of 0.18–0.44 W/(m × K). The main disadvantages of clay-lead composites include low water resistance and dampness, which greatly limits the scope of their application. Soil-cement composites obtained by semi-dry pressing have improved properties: average density 1600–2030 kg/m<sup>3</sup>, compressive strength 14.10–14.10 MPa, thermal conductivity coefficient 0.47–0.70 W/(m × K), water absorption 11.0–28.0% and frost resistance 10–55 cycles.

**Keywords:** clay soils, processing methods, plastic molding, semi-dry pressing, building composite, strength, thermal conductivity

В древние времена человек использовал пластичные глинистые грунты для изготовления кирпича-сырца, используя их свойство приобретать твердость при сушке. Также строили глиняные постройки из строительного композита – самана, состоящего из смеси глины, воды, песка и резаной соломы. Саман служил доступным и эффективным материалом для постройки жилья. Дом получался относительно комфортным для проживания, обладая высокой огнестойкостью и достаточной долговечностью при соблюдении соответствующей защиты от попадания дождя и влаги. На сегодня, кроме традиционно-го саманного строительства, энтузиасты

зеленого строительства строят экодому с использованием самана в виде кирпича-сырца и блоков [1–3]. Для них характерны невысокая прочность и низкая водостойкость. Поэтому для улучшения физико-механических свойств глинистых материалов применяют различные вяжущие вещества, пластификаторы, фибры и др. [4–6]. В технологии изготовления изделий из них применяют, кроме классического пластического формования, полусухое прессование, гиперпрессование, 3D-печать и др. [7–9]. Однако основным способом получения высококачественных изделий на основе глинистых грунтов является энергоёмкое производство керамического кирпича [10].

В суровых климатических условиях Якутии керамический кирпич в г. Якутске начали производить малыми партиями с начала XVIII в. для строительства церковных и административных зданий. До сегодняшнего дня сохранились и восстановлены с десятков кирпичных зданий, что показывает их достаточную долговечность, несмотря на невысокое качество обожженного кирпича. В сельских условиях кирпич-сырец, в единичных случаях обожженный кирпич, производили в районных центрах, в основном для кладки печей.

Идея использования низкокачественных глинистых грунтов в создании безобжиговых композитов и на сегодня остается актуальной в малоэтажном и индивидуальном строительстве из-за доступности сырья и малой энергоемкости производства.

Цель исследования – изучение возможности использования низкокачественных глинистых грунтов Якутии в производстве безобжиговых строительных композитов.

#### Материалы и методы исследования

Экспериментальные работы выполнены с использованием стандартных методов на приборах и оборудовании Инженерно-технического института СВФУ.

В геологическом строении Усть-Алданского месторождения легкоплавких глин принимают участие отложения среднеплейстоценового возраста, представленные суглинками желто-бурыми, лессовидными, с частыми включениями растительных остатков, с тонкими прослоями тонкозернистого песка. Месторождение ранее было изучено только на стадии поисковых работ, в ходе которых было выполнено технологическое испытание сырья месторождения. Результаты испытаний показали, что сырье месторождения низкого качества пригодно только для производства керамического кирпича марки 50 [11]. Зерновой состав суглинков следующий, % мас.: фракции более

0,05 мм – 39,3; от 0,05 до 0,005 мм – 47,3; менее 0,005 мм – 13,4.

Химический состав суглинков, % мас.:  $SiO_2$  – 58,16–59,58;  $Fe_2O_3$  – 4,95–6,11;  $Al_2O_3 + TiO_2$  – 15,97–17,21;  $CaO$  – 3,08–4,92;  $MgO$  – 2,74–3,71; п.п.п. – 7,87–8,88.

Инженерно-геологические изыскания с участием автора проводились на различном расстоянии от с. Борогонцы – районного центра Усть-Алданского района. Работы проводились проходкой шурфов, описанием выработок, отбором проб точечным методом и визуальным описанием площадок с привязкой их к ближайшим поселкам и обозначены на карте Республики Саха (Якутия).

Проба 1 отобрана на аласовой котловине термокарстового происхождения в 2 км от райцентра, западнее трассы Борогонцы – Соттинцы. Шурф сечением 1,25 м<sup>2</sup>. Суглинок серый, талый, с мелкими растительными остатками. Отбор пробы на глубине 0,8 м.

Проба 2 – в 7 км от трассы Борогонцы – Соттинцы, в 1 км к югу от участка Харанга Тордо, вблизи оз. Мюрю. Шурф сечением 1,25 м<sup>2</sup>, глубиной 0,7 м. Суглинок темно-серый, талый, с большим количеством растительных остатков.

Проба 3 – участок Куранах Алаас в 3,5 км южнее с. Ус-Кюель, маленький, термокарстового происхождения, имеется озеро с очень чистой прозрачной водой. В пределах аласа пройдено 3 шурфа с глубиной 0,7–0,85 м в крест простирания, сечение выработок 1,25 м<sup>2</sup>. После вскрытия растительного слоя мощностью 0,2 м ниже следуют темно-коричневые суглинки, с глубиной переходящие в темно-серые, очень плотные, талые.

Проба 4 – в 0,8 км западнее с. Бэрийэ на местности Танара Хайа. Пройдены 2 шурфа с сечением 1,25 м<sup>2</sup> и глубиной 0,8 м. Почвенно-растительный слой – 0,2 м с остатками и корнями травянистых растений, ниже – суглинки темно-серые, талые, плотные.

Таблица 1

Свойства глинистых грунтов

№	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Общая влажность, %	Пластичность	Засоленность, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К)	
	естественная	скелет				талый	сухой
1	1,80	1,41	27	14	11	1,57	1,68
2	1,87	1,39	35	16	25	1,54	1,80
3	1,71	1,37	29	11	19	1,38	1,57
4	1,86	1,56	35	11	17	1,54	1,91
5	1,76	1,14	40	9	28	1,81	2,03

Проба 5 – в с. Кыллай пройдена скважина ручным комплектом бурения диаметром 89 мм, глубиной 1,0 м. Суглинки темно-бурые, заторфованные, с растительными остатками. Свойства глинистых грунтов приведены в табл. 1.

Лучшие показатели по пластичности имеют глинистые грунты из точек 1 и 2, которые могут быть пригодны для изготовления глиносырцового композита. В качестве органического наполнителя взяты древесные опилки.

### Результаты исследования и их обсуждение

Приготовление смеси грунта естественной влажности и наполнителя из древесных опилок производили в стационарном бетоносмесителе с добавлением соответствующего количества воды. Изготовление образцов производили в металлических формах размерами 150×150×150 см способом механического уплотнения. В процессе лабораторных и построечных испытаний установлены оптимальные составы глиносырцовых смесей с наполнителем из древесных опилок (табл. 2 и 3).

Таблица 2

Состав глиносырцовой смеси для устройства стены и пола

Компонент	Начальная влажность, %	Количество, % мас.	Объем, в частях
Грунт	10–12	70	3
Вода	–	20	1
Древесные опилки	5-8	10	3

Таблица 3

Состав глиносырцовой смеси для устройства совмещенной кровли

Компонент	Начальная влажность, %	Количество, % мас.	Объем, в частях
Грунт	10–12	55	2
Вода	–	25	1
Древесные опилки	5-8	20	5

Определены состав и свойства глиносырцового композита для изготовления блоков (табл. 4).

Таблица 4

Состав и свойства глиносырцового композита

Свойства	Содержание наполнителя, % мас.			
	15	12	8	5
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	800	1000	1200	1400
Предел прочности на сжатие, МПа	1,0	2,0	2,8	3,5
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К) в сухом состоянии	0,18	0,25	0,36	0,44

Наибольшей прочностью обладают стеновые блоки с содержанием наполнителя в 5% по массе. Для заполнения самонесущей стены в деревянно-каркасном строительстве был рекомендован глиносырцовый композит плотностью 800 кг/м<sup>3</sup>, имеющий коэффициент теплопроводности в сухом состоянии 0,18 Вт/(м×К).

Составы глиносырцового композита были использованы в деревянно-каркасном строительстве индивидуального дома с совмещенной кровлей. Натурные наблюдения за тепловлажностным режимом жилого дома в зимний период показали следующее:

1) температура воздуха в жилых комнатах в среднем составила 23°C, что вполне удовлетворяет нормативным требованиям;

2) относительная влажность внутри здания составила 24–64%, что в среднем не превышает 50%, что соответствует нормативным требованиям для жилых помещений;

3) температура поверхности деревянного пола – 14,5–16,8°C.

4) фактический коэффициент теплопроводности слоев глиносырцового композита с наполнителем из древесных опилок составил 0,33–0,36 Вт/(м×К), что близко к проектному значению.

5) фактическое сопротивление теплопередаче стеновых конструкций составило 0,92–0,96 (м<sup>2</sup>×К)/Вт, что примерно в 1,5 раза меньше требуемого ( $R_{\text{треб.}} = 1,48$  (м<sup>2</sup>×К)/Вт). Главной причиной невысокого уровня показателя тепловой защиты стеновой конструкции является высокая влажность глиносырцового композита в первый год эксплуатации.

В рамках продолжения НИР на базе сезонного кирпичного завода была выпущена опытная партия глиносырцового кирпича с наполнителем из древесных опилок в 5% по массе объемом в 90 тыс. шт. (табл. 5).

**Таблица 5**

Свойства глиносырцового композита-кирпича пластического формования

Размеры, мм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Воздушная усадка	Прочность при сжатии	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К)
250×125×65	1400–1600	6–8	3,0–3,5	0,35–0,40

**Таблица 6**

Тепловлажностный режим жилого дома из глиносырцового композита

Средняя температура, °С		Относительная влажность, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К)	Сопротивление теплопередаче, (м <sup>2</sup> ×К)/Вт)	Влажность стенового материала, %
1 этаж	2 этаж				
18–20	20–22	25–30	0,25–0,33	1,51–1,98	5–7

**Таблица 7**

Состав и свойства грунтоцементного композита

Состав, по объему	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Водопоглощение, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К)	Морозостойкость
Суглинок-63 + песок-37	2010	14,10	11,0	0,70	55
Суглинок-100	2030	11,41	17,0	0,55	10
Суглинок-63 + супесь-37	1950	7,96	16,0	0,56	40
Суглинок-63 + опилки-37	1710	7,26	25,0	0,52	16
Суглинок-63 + торф-37	1600	4,10	28,0	0,47	15

Морозостойкость составила не ниже 15 циклов, определенная методом термоциклирования при абсолютной влажности воздуха не выше 90 %.

Результаты натурных наблюдений, проведенных на втором году эксплуатации, показали, что тепло-влажностный режим жилых помещений и теплофизические показатели использованных строительных композитов соответствуют расчетным значениям (табл. 6).

Таким образом, по результатам лабораторных и натурных исследований (табл. 1–6) установлено, что глиносырцовый композит с наполнителем из природных органических материалов (например, древесные опилки, солома, мох и др.) может конкурировать с легкими бетонами по многим строительно-эксплуатационным характеристикам, кроме низкой водостойкости и размокаемости.

Для повышения водостойкости и прочности глиносырцовых композитов, как обычно, в исходную смесь дополнительно вводят вяжущее вещества, в большинстве случаев

портландцемент. В таком случае получается грунтоцементный композит – грунтобетон.

Образцы грунтобетона изготовлены способом полусухого прессования 10 МПа на основе глинистого грунта 3 по табл. 2. В качестве минерального наполнителя использовали речной песок и супесь, органического наполнителя – древесные опилки и торф, вяжущего вещества – портландцемент марки ЦЕМ I 32,5Б – 10% мас. (табл. 7).

Как видно из табл. 7, с введением органического наполнителя прочностные показатели уменьшаются практически в 2 раза. Однако коэффициент теплопроводности уменьшается на 25,7%, что указывает на повышение теплозащитных качеств грунтоцементного композита. Поэтому для выпуска опытной партии стеновых блоков был выбран состав с наполнителем из древесных опилок со следующими характеристиками: плотность в сухом состоянии – 1300–1550 кг/м<sup>3</sup>, марка по прочности на сжатие – 20–25, водопоглощение – 16–23%, коэффициент теплопроводности – 0,35–0,45 Вт/(м×К), морозостойкость – 15–25.

Таблица 8

## Свойства прессованного грунтоцементного композита

Цемент, %	Прессование, МПа			
	2,5	5,0	10,0	15,0
$W_0 = 15\%$				
3	3,2/21,7*	4,1/17,7	6,9/19,5	9,0/14,8
5	4,8/15,6	5,5/16,8	7,8/13,8	12,4/15,6
8	5,0/14,8	7,0/13,2	8,7/10,5	13,2/12,9
$W_0 = 15\%$				
3	6,3/14,8	6,9/15,6	7,6/13,2	8,9/13,6
5	6,5/13,1	7,7/11,3	8,6/13,3	12,6/14,2
8	7,7/12,4	10,1/11,3	12,5/10,8	14,1/12,0

Примечание: \* – в числителе – прочность на сжатие, в знаменателе – водопоглощение.

Таким образом, оптимальный вариант получения грунтоцементных композитов с заданными свойствами заключается в применении технологии полусухого прессования с одновременной стабилизацией материала введением вяжущих веществ. Испытания производились с составом грунтоцемента: суглинок 70% + речной песок 30% + портландцемент ЦЕМ I 32,5Б (3, 5 и 8% к грунтовой смеси). Получены зависимости прочности на сжатие и водопоглощения грунтоцементного композита от усилия прессования и начальной влажности грунтовой смеси  $W_0$  (табл. 8).

### Заключение

Из вышеприведенных результатов лабораторных и натурных исследований установлено, что в отдаленных от промышленных центров районов Севера и Арктики вполне приемлемым вариантов может быть организация малых производств строительных композитов на основе доступных глинистых грунтов с различными наполнителями из природного и техногенного сырья. Следует отметить, что технология создания строительных композитов из глинистых грунтов требует доработки для конкретного района строительства с учетом наличия сырья и энергетических ресурсов.

### Список литературы

1. Маржохова А.Ш. Актуальность строительных материалов прошлого (землебит, саман, солома, снег и лед) //

Вестник современных исследований. 2018. № 12.1 (27). С. 600–602.

2. Енин А.Е., Гриценко Н.В. Экологические материалы при формировании устойчивой жилой среды сельских поселений (проектные и технологические аспекты строительства из самана) // Архитектурные исследования. 2017. № 1 (9). С. 63–70.

3. Унайбаев Б.Ж., Шегай В.М., Унайбаев Б.Б. Эффективность применения стен из грунтовых материалов // Механика и технологии. 2018. № 3 (61). С. 105–112.

4. Дуйшов С.Д., Калдыбаев Н.А., Назарбеков Б.К. Разработка технологических параметров изготовления органо-грунтовых стеновых материалов (фиброблок) на основе местных сырьевых ресурсов // Известия Омского технологического университета. 2023. № 3. С. 16–22.

5. Бобыльская В.А., Мазгалева А.В., Лещенко С.И. Подбор составов золошлакоцементной смеси при проектировании грунтобетонов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 4 (23). С. 41–46.

6. Дмитриева Т.В., Строкова В.В., Безродных А.А. Влияние генетических особенностей грунтов на свойства грунтобетонов на их основе // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1, № 1. С. 69–77.

7. Лаушкина В.А., Иващенко Ю.Г. Стеновые материалы на основе фосфогипса, изготавливаемые методом полусухого прессования // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2014. № 11 (70). С. 153–154.

8. Лунегова А.А., Вдовин В.И., Болотин А.В. Перспективы использования лега-кирпича в индивидуальном жилищном строительстве // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 3 (48). С. 26–31.

9. Вашева С.В., Елистраткин М.Ю., Бухтияров И.Ю., Ионов А.М. Грунтобетоны для строительной 3D-печати // Университетская наука. 2023. № 2 (16). С. 27–31.

10. Тацки Л.Н., Ильина Л.В., Филин Н.С. Технологические принципы повышения качества керамического кирпича полусухого прессования из низкокачественного сырья // Известия вузов. Строительство. 2019. № 7. С. 35–48.

11. Пояснительная записка к обзорной карте месторождений строительных материалов Якутской АССР масштаба 1:2500000. Т. 1 и 2. М.: Союзгеолфонд, 1988. 421 с.

УДК 628.316.13  
DOI 10.17513/use.38241

## РЕАГЕНТНАЯ ОБРАБОТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД АЛЮМОСОДЕРЖАЩИМИ КОМПЛЕКСНЫМИ КОАГУЛЯНТАМИ-ФЛОКУЛЯНТАМИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Старостина И.В., Локтионова Е.В., Кирюшина Н.Ю., Макридина Ю.Л., Лифинцев А.Н.  
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова»,  
Белгород, e-mail: starostinairinav@yandex.ru

**Аннотация.** Городские сточные воды формируются как результат использования воды в бытовых, промышленных и коммерческих целях, а также включают атмосферные осадки. В 2021 г. сброс сточных вод в поверхностные водные объекты Белгородской области составил 148,29 млн м<sup>3</sup>, в том числе загрязненных – 60,56 млн м<sup>3</sup>, нормативно-чистых без очистки – 33,49 млн м<sup>3</sup>, нормативно-очищенных – 57,70 млн м<sup>3</sup>. Общая мощность очистных сооружений перед сбросом в водные объекты составляет 232,67 млн м<sup>3</sup>, однако многие очистные сооружения региона работают недостаточно эффективно. Основными причинами неэффективной работы очистных сооружений являются морально устаревшие конструкции, перегрузка по гидравлике и по концентрации загрязняющих веществ, поступающих на очистку сточных вод, нарушение технологических регламентов при эксплуатации сооружений. Использование комбинированных коагулянтов-флокулянтов в системах очистки сточных вод может способствовать более устойчивому управлению водными ресурсами. Но одним из недостатков использования алюмосодержащих коагулянтов является снижение уровня pH очищенных стоков, что связано с процессом их гидролиза и выделением в жидкую фазу соответствующих кислот. В работе представлены результаты использования комбинированного алюмосилицевого коагулянта-флокулянта (АКФ) в системе очистки городских сточных вод для снижения взвешенных веществ в стоках, отобранных на стадии механической очистки – после решеток и песколовок. С целью корректирования pH очищенных стоков рассматривается введение в состав АКФ карбоната кальция – тонкомолотого отсева дробления известняка цеха обжига извести АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» (г. Старый Оскол Белгородской области). Показано, что для очистки отобранных проб сточных вод ГУП «Белводоканал» (после решеток и песколовок) в качестве реагента может быть рекомендована смесь АКФ и порошкообразного известняка при соотношении по массе 1:0,4 и общим расходом 1,4 г/дм<sup>3</sup>. Это обеспечивает значения эффективности очистки по мутности 71,13 и 68,76% при pH очищенных стоков 6,76 и 6,73 соответственно.

**Ключевые слова:** городские сточные воды, взвешенные вещества, комбинированные коагулянты-флокулянты, алюмосилициевый флокулянт-коагулянт, мутность, эффективность очистки

*Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова.*

## REAGENT TREATMENT OF MUNICIPAL WASTEWATER ALUMINUM-CONTAINING COMPLEX COAGULANTS-FLOCCULANTS IN LABORATORY CONDITIONS

Starostina I.V., Loktionova E.V., Kiryushina N.Yu., Makridina Yu.L., Lifintsev A.N.  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,  
Belgorod, e-mail: starostinairinav@yandex.ru

**Annotation.** Municipal wastewater is generated as a result of the use of water for domestic, industrial and commercial purposes, as well as precipitation. In 2021, the discharge of wastewater into surface water bodies of the Belgorod region amounted to 148.29 million m<sup>3</sup>, including polluted – 60.56 million m<sup>3</sup>, standard-clean without treatment – 33.49 million m<sup>3</sup>, standard-treated – 57, 70 million m<sup>3</sup>. The total capacity of treatment facilities before discharge into water bodies is 232.67 million m<sup>3</sup>, however, many treatment facilities in the region do not operate efficiently enough. The main reasons for the ineffective operation of treatment facilities are obsolete structures, overload in hydraulics and the concentration of pollutants entering wastewater treatment, and violation of technological regulations during the operation of facilities. The use of combined coagulant-flocculants in wastewater treatment systems can contribute to more sustainable water resource management. But one of the disadvantages of using aluminum-containing coagulants is a decrease in the pH level of treated wastewater, which is associated with the process of their hydrolysis and the release of corresponding acids into the liquid phase. The paper presents the results of using a combined aluminum-silicon coagulant-flocculant (ASF) in a municipal wastewater treatment system to reduce suspended solids in wastewater collected at the stage of mechanical treatment – after screens and sand traps. In order to adjust the pH of treated wastewater, the introduction of calcium carbonate into the ASF composition is considered – finely ground screenings from crushing limestone from the lime burning shop of JSC “OEMK”, Stary Oskol, Belgorod region. It has been shown that for the purification of selected wastewater samples from the State Unitary Enterprise “Belvodokanal” – after gratings and sand traps, a mixture of ASF and powdered limestone with a mass ratio of 1:0.4 and a total consumption of 1.4 g/dm<sup>3</sup> can be recommended as a reagent. This provides turbidity treatment efficiency values of 71.13% and 68.76% at a pH of treated wastewater of 6.76 and 6.73, respectively.

**Keywords:** municipal wastewater, suspended solids, combined coagulants-flocculants, aluminum-silicon flocculant-coagulant, turbidity, treatment efficiency

*The work was carried out within the framework of the federal program for supporting universities “Priority 2030” using equipment based on the High Technology Center of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.*

Городские сточные воды представляют собой жидкие среды, которые формируются как результат использования воды в бытовых, промышленных и коммерческих целях, включая атмосферные осадки. В состав сточных вод входят различные загрязнители, представляющие собой опасность для окружающей среды и здоровья человека, поэтому очистка сточных вод перед возвращением в природную среду или использованием повторно обязательна.

Городские сточные воды могут быть очень разнообразными по своему составу, в зависимости от характеристик конкретного города, его инфраструктуры, населения и промышленных предприятий, уровня потребления воды и уровня инфильтрации [1]. Общий состав и содержание основных компонентов и загрязнителей, которые часто присутствуют в составе городских сточных вод, представлены в табл. 1.

Процесс очистки городских сточных вод включает в себя несколько этапов – механический, физико-химический, биологический и обеззараживание. Среди физико-химических методов широкое распространение получили коагуляционные и флокуляционные процессы. Коагуляция основана на агрегации дисперсных частиц, которая происходит в результате изменения их структуры и заряда под влиянием электролитов. В качестве коагулянтов используют алюминий- и железосодержащие соединения, которые в результате гидролиза взаимодействуют с коллоидными или грубодисперсными загрязняющими веществами, образуя хлопья. В роли флокулянтов выступают высокомо-

лекулярные соединения, например полиакриламид ПАА, полиамин ПА, способствующие образованию агрегатов за счет объединения нескольких частиц через флокулы химически связанного полимера. Безусловным преимуществом использования коагулянтов является высокая эффективность, широкий спектр применения для обработки разных видов жидких сред, включая питьевую воду, ливневые и промышленные сточные воды.

Известна технология концентрированного коагулирования с использованием высокоградиентного перемешивания сульфата алюминия и полиоксихлорида алюминия [3]. Смешение воды, обработанной коагулянтами, со сжатым воздухом размерами 1,5–2 мм осуществляли с перепадом давления от  $0,3 \cdot 10^5$  до  $4,0 \cdot 10^5$  Па. Экономия сульфата алюминия составляет 30%. В процессах очистки питьевой и промышленных вод положительно зарекомендовали себя коагулянты, полученные солянокислотным разложением алюмосодержащего сырья – красноцветной глины Гиссарского месторождения и содержащие в своем составе  $Al_2O_3$  – 31,5–32,1%,  $Fe_2O_3$  – 95,4–96,7% [4].

Современные исследования показывают, что с целью увеличения эффективности процесса и снижения эксплуатационных затрат все большее применение находят комбинированные коагулянты-флокулянты [5–8].

Основной тенденцией использования коагулянтов-флокулянтов в России является переход на алюмокремниевые коагулянты-флокулянты (АКФК).

Таблица 1

Типичный средний состав загрязнений в коммунальных стоках [2]

Параметр	Значение
Полное биологическое потребление кислорода (БПК <sub>полн.</sub> ), мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>	230–530
Химическое потребление кислорода (ХПК), мг $O$ /дм <sup>3</sup>	320–740
Общий органический углерод, мг $C$ /дм <sup>3</sup>	90–210
Углеводы, мг/дм <sup>3</sup>	15–40
Белки, мг/дм <sup>3</sup>	11–25
Жирные кислоты, мг/дм <sup>3</sup>	25–65
Жиры, мг/дм <sup>3</sup>	11–25
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	190–450
Медь, мг/дм <sup>3</sup>	40–100
Железо, мг/дм <sup>3</sup>	600–1500
Марганец, мг/дм <sup>3</sup>	60–150
Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	130–300

АКФК представляют собой класс химических реагентов, которые объединяют в себе свойства как алюминиевых коагулянтов, так и кремниевых флокулянтов. Согласно [9] активная кремниевая увеличивает молекулярную массу образующихся хлопьевидных продуктов гидролиза соединений алюминия за счет слабого электростатического взаимодействия и взаимной конденсации гидроксида алюминия и мономеров кремнекислоты с образованием крупных агломератов, связанных кислородными мостиками типа Si-O-Al. Это способствует ускорению осаждения сформировавшихся конгломератов, образованию осадка и очистки сточных вод.

Эти реагенты используются в системах водоподготовки и водоотведения для улучшения коагуляции и флокуляции, что позволяет обеспечить более высокое качество очищенной воды и является ключевым фактором в поддержании здоровья человека и экологической стабильности. Кроме того, их применение может снизить затраты на химические реагенты и снизить общую себестоимость процессов очистки воды.

К недостаткам использования железо- и алюминийсодержащих коагулянтов в системе очистки сточных вод относится значительное снижение уровня рН очищенных стоков, что связано с процессом их гидролиза и выделением в жидкую фазу соответствующих кислот. Это особенно важно в тех случаях, когда очищенные стоки направляют на последующую стадию – биологическую очистку, где снижение уровня рН может привести к гибели биоценоза активного ила, поэтому рН среды строго контролируется в интервале 6,5–8. Кроме того, согласно литературным данным [10, 11], образование слабокислого раствора приводит

к торможению самого процесса коагуляции, в результате чего соединения алюминия не участвуют в образовании осадка и остаются в растворе в ионной форме. В случае применения комбинированных реагентов – коагулянтов-флокулянтов в слабокислой среде в качестве осадкообразователя выступает преимущественно кремниевая кислота.

Поэтому корректировка составов порошкообразных коагулянтов-флокулянтов с целью обеспечения нейтрального уровня рН очищенных вод является актуальной задачей.

### Материалы и методы исследования

Для очистки сточных вод использовали порошкообразный алюмокремниевый комплексный коагулянт-флокулянт (далее АКФ), предоставленный ООО «Промышленная компания «Юго-Запад-Химпром»», г. Белгород. Химический состав и физико-химические свойства АКФ представлены в табл. 2 и 3.

В качестве водных сред использовали реальные сточные воды (СВ), отобранные на станции канализации городских очистных сооружений (ОС) ГУП «Водоканал» (г. Белгород). Отбор проб осуществляли 05.12.2023 г. на стадии механической очистки, после решеток (№ 1) и песколовков (№ 2), в объеме по 50 дм<sup>3</sup> каждого вида с исходными показателями: мутность 146,5 NTU и 161 NTU, рН 7,56 и 7,54 соответственно. Отобранные пробы в течение 1 ч были доставлены в лабораторию БГТУ им. В.Г. Шухова, где производили опытные испытания.

Эффективность использования реагентов для осветления проб городских сточных вод оценивали по снижению мутности и значениям рН очищенной воды. Мутность анализируемых проб воды определяли на портативном турбидиметре-мутномере HANNA HI 98307.

Таблица 2

Химический состав АКФ, мас. %

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	п.п.п.
25,43	16,47	9,51	3,04	1,25	0,70	0,24	43,10	0,26

Таблица 3

Физико-химические свойства АКФ

№ п/п	Технологическая характеристика	Значение
1	Преобладающий размер частиц, мкм	40–100
2	Остаток, нерастворимый в воде, мас. %	не более 2,2–2,7
3	Плотность (истинная) частиц АКФ, кг/м <sup>3</sup>	2580
4	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1210–1310

Экспериментальные исследования по реагентной очистке проб городских сточных вод проводили следующим образом: в стеклянный стакан помещали 1000 см<sup>3</sup> воды и навеску используемых материалов. Полученную смесь перемешивали с помощью магнитной мешалки при температуре 20 °С: время интенсивного перемешивания со скоростью 300 мин<sup>-1</sup> – 3 мин, медленно со скоростью 60 мин<sup>-1</sup> – 12 мин. Далее пробы переливали в цилиндры и отстаивали в течение 1 ч. Исследования проводили в трехкратной повторности. Эффективность очистки рассчитывали по формуле

$$\Xi = ((M_n \text{ и } M_k) / M_n) \cdot 100\%,$$

где  $M_n$  и  $M_k$  – мутность сточной воды до и после очистки соответственно, NTU.

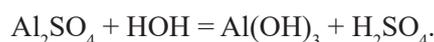
#### Результаты исследования и их обсуждение

Исследования по эффективности очистки проб сточных вод проводили методом пробного коагулирования, который заключался в обработке очищаемой воды разными составами и расходами реагентов в специально откалиброванных цилиндрах при одинаковом стандартном режиме смешения и хлопьеобразования. После отстаивания системы в течение 1 ч из верхней, очищенной части образца отбирали пробу для анализа на содержание основных параметров. Мутность – один из важных критериев качества воды, поэтому в ходе эксперимента эффективность использования коагулянта-флокулянта оценивали по изменению показателей мутности и pH среды. Результаты эксперимента представлены в табл. 4.

Установлено, что при увеличении расхода реагента мутность сточной воды уменьшается, что является результатом наращивания коагуляционно-флокуляционной или сгустительной активности реагента, а также увеличению количества связей коагулянта со взвешенными веществами. Увеличение

дозы АКФ не обеспечивает требуемого значения pH, то есть при расходе АКФ с 0,4 до 2,0 г/дм<sup>3</sup> pH очищенных проб сточных вод, отобранных как после решеток, так и после песколовков, снижается с 6,54 до 4,16 и с 6,5 до 4,19, при этом эффективность очистки снизилась с 81,7 до 68,00% и с 82,9 до 75,0% соответственно.

Поскольку в состав АКФ входит сульфат алюминия и кремниевая кислота, то после его введения в сточную воду и растворения происходит гидролиз сульфата алюминия с образованием хлопьевидных продуктов по схеме



С увеличением расхода реагента АКФ до 2 г/дм<sup>3</sup> pH очищаемого образца снижается, то есть происходит процесс закисления, часть алюминия остается в ионной форме и не участвует в процессе коагуляции, что отражается на снижении эффективности очистки по мутности до 68 и 75% для проб после решеток и песколовков соответственно.

Следовательно, в состав АКФ необходимо введение корректирующих материалов, имеющих щелочной показатель, которые способны принять избыточные ионы водорода (H<sup>+</sup>) и увеличить концентрацию ионов гидроксида (OH<sup>-</sup>), что приведет к реакции нейтрализации и повышению pH.

Далее, в качестве корректирующей добавки рассматривали использование отсева дробления известняка (размер частиц 0–20 мм) цеха обжига извести АО «Оскольский электрометаллургический комбинат им. А.А. Угарова» (г. Старый Оскол Белгородской области). Химический состав отсева известняка: (CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub>) – 96,5%, в том числе MgCO<sub>3</sub> – не более 3,0±0,1; SiO<sub>2</sub> – не более 3,5%. Отсев измельчали до порошкообразного состояния, гранулометрический состав характеризовался остатком на сите 0,14–5 мас. %.

Таблица 4

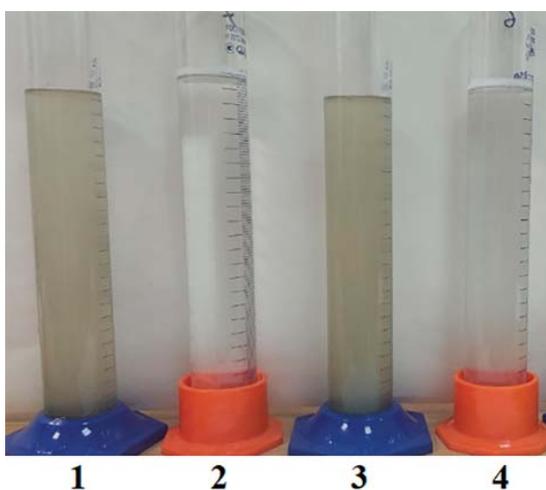
Влияние расхода АКФ на некоторые характеристики осветленной воды

№ п/п	Расход АКФ, г/дм <sup>3</sup>	pH среды		Мутность, NTU		Эффективность, %	
		1	2	1	2	1	2
1	0,4	6,54	6,50	26,81	27,53	81,7	82,9
2	0,6	6,45	6,42	29,08	28,66	80,15	82,2
3	0,8	6,18	6,19	29,88	29,30	79,6	81,8
4	1,0	5,70	5,71	44,1	35,26	69,9	78,1
5	2,0	4,16	4,19	46,88	40,25	68,00	75,0

Таблица 5

Влияние состава реагента на параметры очищенной сточной воды

№ п/п	Расход АКФ, г/дм <sup>3</sup>	Расход известняка, г/дм <sup>3</sup>	рН среды		Мутность, NTU		Эффективность очистки, %	
			1	2	1	2	1	2
1	1,0	0,4	6,76	6,73	42,30	50,30	71,13	68,76
2		1,0	6,87	6,72	42,90	38,60	70,72	76,40
3	2,0	0,4	6,42	6,48	52,50	46,00	64,16	68,60
4		1,0	6,48	6,52	46,00	38,90	68,60	75,84
5	3,0	0,4	4,94	4,85	53,16	55,21	63,71	65,71
6		1,0	5,41	5,35	30,90	33,90	78,91	78,94



Результаты использования известняка в составе АКФ (опыт № 2 по табл. 5) для очистки сточных вод:  
1, 2 – после решеток до и после очистки;  
3, 4 – после песколовков до и после очистки

Полученный порошок известняка в различных количествах вводили в очищаемые образцы сточной воды совместно с АКФ. Полученные результаты представлены в табл. 5 и на рис. 1.

Представленные результаты показали, что использование в качестве корректирующей добавки измельченного отсева известняка является перспективным, поскольку способствует повышению уровня рН очищенных проб. В качестве оптимальных расходов рассматриваемых компонентов – АКФ и известняка, для сточных вод ГУП «Белводоканал», отобранных на стадии механической очистки, можно рекомендовать 1,0 и 0,4 г/дм<sup>3</sup> соответственно. Это обеспечивает значения эффективности очистки по величине мутности – 71,13 и 68,76% при значениях рН 6,76 и 6,73 для стоков,

отобранных после решеток и песколовков соответственно. Повышение дозы известняка до 1,0 г/дм<sup>3</sup> обеспечивает незначительное увеличение эффективности очистки – до 76,4% для стоков после песколовки, что, учитывая значительный расход материала, является нецелесообразным.

### Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность использования тонкодисперсного известняка в качестве регулятора кислотности очищенных стоков в составе порошкообразных комбинированных алюмокремниевых коагулянтов-флокулянтов. Использование известняка в количестве 0,4 г/дм<sup>3</sup> совместно с АКФ (1 г/дм<sup>3</sup>) обеспечивает эффективность осветления – 71,13 и 68,76% при значениях рН 6,76 и 6,73 для городских сточных вод, отобранных на этапе механической очистки, после решеток и песколовков, станции канализации городских очистных сооружений (ОС) ГУП «Водоканал» (г. Белгород) соответственно.

### Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Белгородской области в 2021 году». Правительство Белгородской области, Министерство природопользования Белгородской области. Белгород, 2022. 233 с.
2. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. М.: Мир, 2006. 480 с.
3. Гришин Б.М. и др. Реагентная обработка поверхностных природных вод алюмосодержащими коагулянтами: монография. Пенза: ПГУАС, 2016. 140 с.
4. Гафуров М.З., Мирзоев Б., Давлатмиров Дж., Табарова М. Получение коагулянтов из местного сырья и производственных отходов // Вестник ТТУ им. академ. М.С. Осими. 2010. № 4. С. 27–29.
5. Wang R. et al. Flocculant Containing Silicon, Aluminum, and Starch for Sewage Treatment // Journal of Chemical Engineering of Japan. 2020. Т. 53, № 10. С. 592–598.
6. Kudryavtsev P.G., Kudryavtsev N.P. Treatment of natural surface waters using new composite flocculants-coagulants //

Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions. 2020. T. January. P. 93–148.

7. Vasilenko T.A., Koltun A.A. Chemical aspects of the obtaining of iron-containing coagulant-flocculant from electric steel melting slag from wastewater treatment // *Solid State Phenomena*. 2017. T. 265. P. 403–409.

8. Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Святченко А.В. Технология получения железосодержащего коагулянта из отходов сталеплавильного производства для очистки ливневых вод // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2016. № 12. С. 160–164.

9. Веляев Ю.О. Исследование эффективности коагулянтов, полученных на основе природного алюмо- и желе-

зосодержащего сырья, в процессах очистки промышленных вод некоторых предприятий Курской области // *Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета*. 2017. № 4 (16).

10. Моргунов А.Ф., Кручинин Н.Е., Тимашева Н.А., Моргунов П.А. Коллоидно-химические закономерности очистки вод алюмокремниевым флокулянт-коагулянт // *Химия и химическая технология*. 2006. Т. 49. Вып. 4. С. 20–24.

11. Кузин Е.Н., Кручинина Н.Е. Комплексные коагулянты очистки сточных вод гальванического производства // *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2019. Т. 27, № 4. С. 43–49.