ИД «Академия Естествознания»

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 9 2025

ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 9 2025

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 завершенных 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

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ
Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

Технический редактор
Доронкина Е.Н.

Корректор
Галенкина Е.С.,
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. ***Ивашкевич А.Н.*** (Москва); д.б.н., доцент ***Кавцевич Н.Н.*** (Мурманск); д.т.н., проф. ***Калякин С.А.*** (Донецк); д.с.-х.н., проф. ***Караев М.К.*** (Махачкала); д.г.-м.н., проф. ***Кашаев А.А.*** (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. ***Кобрунов А.И.*** (Ухта); д.г.-м.н., доцент ***Копылов И.С.*** (Пермь); д.г.-м.н., проф. ***Костицын В.И.*** (Пермь); д.с.-х.н., проф. ***Костылев П.И.*** (Зерноград); д.э.н., проф. ***Косякова И.В.*** (Самара); д.с.-х.н., ***Коцарева Н.В.*** (Белгород); д.т.н., доцент ***Кузяков О.Н.*** (Тюмень); д.г.-м.н., проф. ***Кучеренко И.В.*** (Томск); д.б.н., проф. ***Ларионов М.В.*** (Саратов); д.г.-м.н., проф. ***Лебедев В.И.*** (Кызыл); д.ф.-м.н., проф. ***Лерер А.М.*** (Ростов-на-Дону); д.г.н., проф. ***Луговской А.М.*** (Москва); д.г.-м.н., проф. ***Мельников А.И.*** (Иркутск); д.т.н., проф. ***Мусаев В.К.*** (Москва); д.т.н., доцент ***Нехорошева А.В.*** (Ханты-Мансийск); д.с.-х.н., ***Никитин С.Н.*** (Ульяновск); д.с.-х.н., ***Оказова З.П.*** (Владикавказ); д.с.-х.н., проф. ***Партоев К.*** (Душанбе); д.с.-х.н., проф. ***Петелько А.И.*** (Мценск); 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. ***Сакиев 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. ***Ширапов Д.Ш.*** (Улан-Удэ); д.т.н., проф. ***Шишелова Т.И.*** (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. ***Шугунов 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	30.09.2025	**Дата выхода номера**	30.10.2025
Формат	60x90 1/8	**Усл. печ. л.**	14,25
Тираж	1000 экз.	**Заказ**	УСЕ 2025/9

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**). **К2**.
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.

EXECUTIVE SECRETARY
Bizenkova Maria Nikolaevna, Cand. Sci. (Medical)

Technical editor
Doronkina E.N.

Corrector
Galenkina E.S.,
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. ***Belozerov 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.*** (Novocherkassk); D.Sc. ***Gorbacheva A.G.*** (Pyatigorsk); D.Sc. ***Goryanin O.I.*** (Samara); D.Sc., Prof. ***Gusev A.I.*** (Biysk); D.Sc., Prof. ***Danilin I.M.*** (Krasnoyarsk); D.Sc., Docent ***Dolgov A.V.*** (Murmansk); D.Sc., Prof. ***Dolyatovsky V.A.*** (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. ***Dresvyannikov A.F.*** (Kazan); D.Sc., Prof. ***Egorina A.V.*** (Ust-Kamenogorsk); D.Sc., Prof. ***Erofeev V.I.*** (Tomsk); D.Sc., Prof. ***Zalesov S.V.*** (Ekaterinburg); D.Sc., Docent ***Zakharchenko A.V.*** (Tomsk); D.Sc., Prof. ***Zvolinsky V.P.*** (Volgograd); D.Sc., Prof. ***Ivashkevich A.N.*** (Moscow); D.Sc., Docent ***Kavtsevich N.N.*** (Murmansk); D.Sc., Prof. ***Kalyakin S.A.*** (Donetsk); D.Sc., Prof. ***Karaev M.K.*** (Makhachkala); D.Sc., Prof. ***Kashaev A.A.*** (Irkutsk); D.Sc., Prof. ***Kobrunov A.I.*** (Ukhta); D.Sc., Docent ***Kopylov I.S.*** (Perm); D.Sc., Prof. ***Kostitsyn V.I.*** (Perm); D.Sc., Prof. ***Kostylev P.I.*** (Zernograd); D.Sc., Prof. ***Kosyakova I.V.*** (Samara); D.Sc., ***Kotsareva N.V.*** (Belgorod); D.Sc., Docent ***Kuzyakov 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. ***Tikhanovsky A.N.*** (Salekhard); D.Sc., Prof. ***Trofimenko S.V.*** (Neryungri); D.Sc., Prof. ***Ulrich E.V.*** (Kemerovo); D.Sc., Prof. ***Choduraev T.M.*** (Bishkek); D.Sc., Prof. ***Shamshiev B.N.*** (Osh); D.Sc., Prof. ***Shantarin V.D.*** (Tyumen); D.Sc., Prof. ***Shatov A.A.*** (Ufa); D.Sc., Prof. ***Shirapov D.Sh.*** (Ulan-Ude); D.Sc., Prof. ***Shishelova T.I.*** (Irkutsk); D.Sc., Prof. ***Shugunov L.Zh.*** (Nalchik); D.Sc., Prof. ***Yurgenson G.A.*** (Chita); D.Sc., Prof. ***Yakovenko N.V.*** (Voronezh); D.Sc., Prof. ***Yamaletdinova K.Sh.*** (Chelyabinsk)

ISSN 1681-7494
Electronic version: http://www.natural-sciences.ru
Rules for authors: http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index
Impact-factor RISQ (two-year) = 0,775
Impact-factor RISQ (five-year) = 0,368

Periodicity	12 issues per year		
Founder, publisher and editors	LLC PH Academy of Natural History		
Mailing address	105037, Moscow, p.o. box 47		
Editorial and publisher address	440026, Penza, st. Lermontov, 3		
Printing house	LLC SPC Academy of Natural History 410035, Saratov, st. Mamontova, 5		
E-mail	edition@rae.ru	**Telephone**	+7 (499) 705-72-30
Signed for print	30.09.2025	**Number issue date**	30.10.2025
Format	60x90 1/8	**Conditionally printed sheets**	14,25
Circulation	1000 copies	**Order**	УСЕ 2025/9

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

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛОКУСОВ, КОДИРУЮЩИХ ПРОЛАМИН, У МЕСТНЫХ И ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (*T. AESTİVUM* L.)

Каримов А.Я., Садыгов Г.Б., Ибрагимова Ш.Г., Садыгова С.Б., Поладова Г.Г. *8*

АНАЛИЗ РЫНКА РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ В РОССИИ: СОСТОЯНИЕ, ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Ступин А.С. *16*

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

АНАЛИЗ МИГРАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ВЫЯВЛЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ (НА ПРИМЕРЕ КУЛУНДИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ И ДОЛИНЫ РЕКИ ИРТЫШ)

Барышников С.Г. *24*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ ЛАНДШАФТНОЙ ИНДИКАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ)

Масляев В.Н., Маскайкин В.Н., Евсеев А.Д., Лагутенков И.С., Терехин Д.Ю. *33*

ДУАЛЬНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА: ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ДИСБАЛАНСОВ

Монгуш С.П. *41*

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ТАМАНСКОГО ЗАЛИВА ПО СТЕПЕНИ ТРАНСФОРМАЦИИ СООБЩЕСТВ МАКРОФИТОБЕНТОСА

Сушкова Е.Г., Афанасьев Д.Ф., Беспалова Л.А. *48*

ОЦЕНКА ЭТНОКУЛЬТУРНОГО ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИЙ ПРОЖИВАНИЯ КОРЕННЫХ НАРОДОВ

Чайкина Е.В., Кайзер Ф.Ю., Брель О.А. *55*

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА, ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА УРОВЕНЬ ЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Шишкин А.В., Кочетова Ж.Ю., Вартазарова А.Э. *63*

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

СТАТЬИ

СОВРЕМЕННОЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ВОДОЕМОВ ГОРОДА ОМСКА

Королёв А.Н. *75*

РОЛЬ СОРБЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПЕРЕРАБОТКЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Малышев Е.О., Белова Т.П., Хижко З.И. *82*

ВЛИЯНИЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД НА ВОЗМОЖНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ В НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ И ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИНАХ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ

Портнягин А.С., Иванова И.К., Рожин И.И. *89*

ГЛОБАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НАВОДНЕНИЙ: ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕАНАЛИЗ

Федоровский А.С., Кролевецкая Ю.В. *100*

Технические науки (2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение; 1.6.7 Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение)

СТАТЬЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБОГРЕВА ПОМЕЩЕНИЙ ТЕПЛОТОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВОДЫ

Кузьмин Г.П., Куваев В.А. *106*

CONTENTS

Agricultural Sciences (4.1.1 General Agriculture and Plant Growing)

ARTICLES

IDENTIFICATION OF PROLAMIN-CODING LOCI IN LOCAL AND INTRODUCED BREAD WHEAT (*T. AESTİVUM* L.) VARIETIES

Karimov A.Y., Sadygov G.B., Ibragimova S.G., Sadygova S.B., Poladova G.G. 8

ANALYSIS OF THE MARKET FOR PLANT GROWTH REGULATORS IN RUSSIA: CURRENT STATUS, TRENDS AND PROSPECTS

Stupin A.S. 16

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

ANALYSIS OF MIGRATION OF SURFACE WATER BASED ON IDENTIFICATION OF HYDROLOGICAL CONNECTION BETWEEN WATER BODIES (ON THE EXAMPLE OF THE KULUNDA LOWLAND AND THE IRTYSH RIVER VALLEY)

Baryshnikov S.G. 24

INVESTIGATION OF DANGEROUS GEODYNAMIC EXOGENOUS PROCESSES BY LANDSCAPE INDICATION METHOD (ON THE EXAMPLE OF FOREST-STEPPE LANDSCAPES OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA)

Maslyaev V.N., Maskaikin V.N., Evseev A.D., Lagutenkov I.S., Terekhin D.Yu. 33

DUAL ECONOMIC MODEL OF THE REPUBLIC OF TYVA: ASSESSMENT OF STRUCTURAL IMBALANCES

Mongush S.P. 41

GEOECOLOGICAL ZONING OF TAMAN BAY ACCORDING TO THE DEGREE OF TRANSFORMATION OF MACROPHYTOBENTHOS COMMUNITIES

Sushkova E.G., Afanasev D.F., Bespalova L.A. 48

ASSESSMENT OF THE ETHNOCULTURAL TOURIST AND RECREATIONAL POTENTIAL OF TERRITORIES OF RESIDENCE OF INDIGENOUS PEOPLES

Chaikina E.V., Kaizer Ph.Yu., Brel O.A. 55

THE INFLUENCE OF WIND SPEED, HUMIDITY AND AIR TEMPERATURE ON THE LEVEL OF POLLUTION

Shishkin A.V., Kochetova Zh.Yu., Vartazarova A.E. 63

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

ARTICLES

CURRENT HYDROCHEMICAL STATE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC WATER BODIES IN OMSK

Korolev A.N. *75*

THE ROLE OF SORPTION TECHNOLOGIES IN THE PROCESSING OF GOLD-BEARING MINERAL RAW MATERIALS

Malyshev E.O., Belova T.P., Khizhko Z.I. *82*

THE INFLUENCE OF PERMAFROST ON THE POSSIBILITY OF THE HYDRATE FORMATION IN INJECTION AND PRODUCTION WELLS IN OIL FIELDS OF THE EASTERN PART OF THE NEPA-BOTUOBA OIL AND GAS REGION

Portnyagin A.S., Ivanova I.K., Rozhin I.I. *89*

GLOBAL FLOOD AWARENESS SYSTEM: HYDROLOGICAL REANALYSIS

Fedorovskiy A.S., Krolevetskaya Yu.V. *100*

Technical sciences (2.1.3 Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting; 1.6.7 Engineering geology, permafrost and soil science)

ARTICLE

DETERMINATION OF PARAMETERS OF A DEVICE FOR HEATING ROOMS WITH THE HEAT OF CRYSTALLIZATION OF WATER

Kuzmin G.P., Kuvaev V.A. *106*

СТАТЬИ

УДК 633.11:575
DOI 10.17513/use.38423

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛОКУСОВ, КОДИРУЮЩИХ ПРОЛАМИН, У МЕСТНЫХ И ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (*T. AESTİVUM* L.)

Каримов А.Я., Садыгов Г.Б., Ибрагимова Ш.Г., Садыгова С.Б., Поладова Г.Г.

Институт генетических ресурсов, Баку, e-mail: akber_xocali@yahoo.com

В ходе исследования был проведен электрофоретический анализ запасных белков глиадина в зерне 34 местных и интродуцированных сортов мягкой пшеницы. Целью исследования являлась идентификация и паспортизация блоков аллельных компонентов локусов, кодирующих глиадин (Gli 1A, Gli 1B, Gli 1D, Gli 6A, Gli 6B, Gli 6D) в образцах мягкой пшеницы. В результате работы в локусах, кодирующих глиадин, сортов мягкой пшеницы было идентифицировано 43 известных и 1 новый блок аллельных компонентов. В глиадин-кодирующем локусе хромосомы 1A, контролирующем синтез запасных белков в зерне мягкой пшеницы сорта Алтынбашаг, был выявлен блок известных аллельных компонентов Gld 1A4. Были также идентифицированы: Gld 1B3 в локусе Gld 1B, Gld 1D1 в локусе Gld 1D, Gld 6A9 в локусе Gld 6A, Gld 6B9 в локусе Gld 6B и Gld 6D1 в локусе Gld 6D. Редкий аллель Gld 1A16 в локусе, кодирующем глиадин Gld 1A, нового образца мягкой пшеницы T. aestivum L. и новый компонентный блок аллели глиадина Gld 1B23Y были впервые идентифицированы в локусе Gld 1B. Наибольший полиморфизм наблюдался в локусах Gld 1A и Gld 1B, а наименьший – в локусе Gld 1D. Частота встречаемости блоков аллельных компонентов глиадина также была рассчитана в процентах. Частоты встречаемости среди образцов с блоком компонента аллеля глиадина составили: Gld 1A5 – 29,5%, Gld 1A4 – 26,5%, Gld 1B3 – 47,1%, Gld 1B1 – 23,5%, Gld 1D1 – 79,5%, а вновь выявленного аллеля Gld 1B23Y – 3,0%.

Ключевые слова: мягкая пшеница, глиадин, аллель, компонентный блок, локус, электрофоретический анализ, идентификация, полиморфизм, интродуцированные сорта

IDENTIFICATION OF PROLAMIN-CODING LOCI IN LOCAL AND INTRODUCED BREAD WHEAT (*T. AESTİVUM* L.) VARIETIES

Karimov A.Y., Sadygov G.B., Ibragimova S.G., Sadygova S.B., Poladova G.G.

Institute of Genetic Resources, Baku, e-mail: akber_xocali@yahoo.com

During the study, an electrophoretic analysis of gliadin storage proteins in the grain of 34 local and introduced bread wheat varieties was conducted. The aim of the research was the identification and cataloging of allele block components at loci encoding gliadin (Gli 1A, Gli 1B, Gli 1D, Gli 6A, Gli 6B, Gli 6D) in bread wheat samples. As a result, 43 known and 1 new block of allele components were identified at gliadin-encoding loci in bread wheat varieties. In the gliadin-encoding locus of chromosome 1A, responsible for the synthesis of storage proteins in the grain of the bread wheat variety Altynbashag, the known allele block Gld 1A4 was detected. Additionally, the following were identified: Gld 1B3 in locus Gld 1B, Gld 1D1 in locus Gld 1D, Gld 6A9 in locus Gld 6A, Gld 6B9 in locus Gld 6B, and Gld 6D1 in locus Gld 6D. A rare allele, Gld 1A16, in the gliadin-encoding locus Gld 1A of a new bread wheat sample Triticum aestivum L., and a new component block of the gliadin allele, Gld 1B23Y, were identified for the first time in the Gld 1B locus. The highest polymorphism was observed in the Gld 1A and Gld 1B loci, and the lowest in the Gld 1D locus. The frequency of occurrence of gliadin allele component blocks was also calculated as percentages. The frequencies among the samples with a gliadin allele component block were as follows: Gld 1A5 – 29.5%, Gld 1A4 – 26.5%, Gld 1B3 – 47.1%, Gld 1B1 – 23.5%, Gld 1D1 – 79.5%, and the newly identified allele Gld 1B23Y- 3.0%.

Keywords: bread wheat, gliadin, allele, component block, locus, identification, electrophoretic analysis, polymorphism, introduced varieties

Введение

Продукты питания, изготовленные из пшеницы в Азербайджанской Республике, являются одними из потребительских товаров, которые составляют повседневную потребность населения. Пищевая ценность пшеницы обусловлена богатством её зёрен, витаминами, каротиноидами, углеводами и белковыми веществами [1]. Аллельные блоки глиадина, связанные с качественными показателями, широко используются для повышения хлебопекарного качества мягкой пшеницы. Наряду с этим использование белков глиадина и ISSR-маркеров при оценке генетического разнообразия зерновых культур является одной из актуальных задач современности [2; 3]. В ряде исследований выявлена тенденция к снижению уровня генетического разнообразия у современных сортов, что связано с использованием одних и тех же родительских форм в селекционных программах [4].

На основе метода A-PAGE был проведён электрофоретический анализ 150 сортов озимой мягкой пшеницы, в результате которого были выявлены 70 аллелей, кодируемых кла-

стерными генами на 6 локусах, кодирующих глиадины. По локусам глиадина 42% сортов оказались гетерогенными, а 58% – гомогенными. В исследуемых сортах значительное совпадение локусов глиадина составило 91,3%, однако 8,7% сортов твёрдой пшеницы не различались, несмотря на наличие одинаковых аллелей. Наиболее часто встречающиеся аллели составили 18,6% среди этих сортов. Разнообразие аллелей по локусу Gli-2 у сортов озимой мягкой пшеницы оказалось выше (47 аллелей), чем по локусу Gli-1 (23 аллеля), что обусловлено наличием редких аллелей. Для мягкой пшеницы были идентифицированы три новых аллеля по локусу Gli-A2 и два по локусу Gli-B2.

Глиадины и глютены – белки запаса, и их кодирующие локусы передаются по наследству как генетически детерминированные признаки, оставаясь стабильными независимо от условий почвы, климата и агротехники. Это делает данные генетические маркеры актуальными для изучения генетического разнообразия растений и ускорения селекционных работ [5].

С 1980-х годов локусы, кодирующие глиадины, используются следующим образом: на хромосомах первой гомологичной группы располагаются локусы Gld A1, Gld B1, Gld D1 (также известные как Gli 1A, Gli 1B и Gli 1D, где A, B, D указывают на принадлежность к соответствующим геномам), а на хромосомах шестой гомологичной группы – Gld 6A, Gld 6B, Gld 6D [6].

Связь между компонентами глиадина и технологическими показателями зёрен подробно изучена в ряде исследований. Так, участие блоков компонентов глиадина Gld 1D4, Gld 1A11, Gld 1D10, Gld 6A24 и Gld 6D17 в генотипе сортов сопровождается повышением количества и качества клейковины. Кроме того, установлена связь между блоками Gld 1D4, Gld 1D10, Gld 6A24, Gld 6D2, Gld 6A7, Gld 6D6, Gld 1A11 и массой зёрен, а также между блоком Gld 6A17 и осаждением частиц муки, а аллель Gld 6D6 связан с хлебопекарными свойствами зёрен. Эти выводы были подтверждены в исследованиях С.В. Чеботаря и соавт. [7].

Аллельный состав генов VRN-1 и PPD-1, контролирующих сроки колошения, определён у 47 сортов яровой мягкой пшеницы, возделываемой в европейской части России. Аллель Ppd-D1b, определяющий фоточувствительность растений, присутствует у 95,7% сортов, аллель Vrn-A1a, обеспечивающий полную нечувствительность к пониженным температурам, – у 91,5% сортов, ген VRN-B1 (аллели Vrn-B1c и Vrn-B1a) – у 85,1% сортов [8].

Целесообразно проведение исследований, направленных на выявление полиморфизма генетически детерминированных белков, то есть множества аллелей генов, синтезирующих эти белки, в живых организмах и создание набора маркеров генетического разнообразия. Изучение генетического разнообразия образцов мягкой и твёрдой пшеницы на основе белковых маркеров имеет важное значение [9; 10].

Поскольку глиадины и глютены являются первыми продуктами экспрессии генов запасных белков, изучение полиморфизма образцов растений, их идентификация и связь белковых маркеров с качественными признаками зёрен играет важную роль как генетический маркер при решении многих научных задач [11].

Цель исследования – идентификация местных и интродуцированных сортов мягкой пшеницы на основе глиадиновых белковых маркеров и изучение их генетического расстояния.

Материалы и методы исследования

В исследовательской работе использовали 34 сорта мягкой пшеницы урожая 2023 года, полученные с Абшеронской научно-исследовательской базы Института генетических ресурсов и из НИИ Земледелия. Экстракцию и электрофоретический анализ запасных белков глиадина в зернах образцов мягкой пшеницы в полиакриламидных гелях (А-ПААГ) проводили на основе нового метода, полностью модифицированного Ф.А. Поперелей (1989) по методу Р.Р. Зильмана и В. Бушука (1979).

Экстракция глиадина: одно зерно взбивают и помещают в пробирку, добавляют к нему 250 мкл 70%-ного этанола. Экстракт в пробирке растворяют с помощью механической мешалки и выдерживают при комнатной температуре в течение 30 минут. Затем экстракт глиадина центрифугируют при 2500 об./мин. в течение 5 минут. Механической пипеткой отбирают 0,1 мл приготовленного спиртового экстракта глиадина и добавляют в чистую пробирку. К нему добавляют 0,2 мл раствора загустителя (7, 14).

Для определения генетического родства сортов мягкой пшеницы использовали статистическую компьютерную программу DARWIN-6. С помощью этого метода определяли генетическую дистанцию на основе индекса генетического сходства различных образцов мягкой пшеницы.

Результаты исследования и их обсуждение

В стране достигнуты значительные практические результаты в использовании белковых маркеров (глиадина и клейковины) для идентификации сельскохозяйственных культур, улучшения семеноводства и контроля качества тканей.

Электрофоретический анализ запасных белков проламина показал, что аллельные варианты блоков компонентов глиадина различаются между собой по суммарным электрофоретическим спектрам, скорости миграции компонентов в геле и визуальному виду спектров. В 34 местных и интродуцированных сортах мягкой пшеницы было обнаружено 44 блока аллельных компонентов глиадина в шести локусах, ответственных за их кодирование. В ходе научных исследований белки глиадина условно разделены на четыре группы, известные как ω-, γ-, β- и α-глиадины (рис. 1, табл.).

Генетическую идентификацию сортов мягкой пшеницы проводили на основе каталога (маркера) блоков аллельных компонентов глиадина сорта Безостая-1 по локусам *Gld 1A, Gld 1B, Gld 1D, Gld 6A, Gld 6B, Gld 6D*. В качестве маркерных сортов использовали сорта мягкой пшеницы Безостая-1, Анза и Румели. При анализе локусов, кодирующих глиадин, было установлено, что наибольшее количество полиморфизмов наблюдается в локусах *Gld 1A, Gld 6A и Gld 1B*, тогда как наименьший полиморфизм был зафиксирован в локусе *Gld 1D*. В ходе анализов также рассчитывали частоту встречаемости блоков аллельных компонентов глиадина в процентах. Частота встречаемости блоков аллельных компонентов составила: *Gld 1A5* – 29,5%, *Gld 1A4* – 26,5%, *Gld 1A10* – 11,7%, *Gld 1A6* – 8,8%, *Gld 1A15* – 5,8%, *Gld 1A16* – 0 8,8%, *Gld 1A3* – 3,0%, *Gld 1A7* – 3,0%, *Gld 1A19* – 2,9%, *Gld 1B3* – 47,1%, *Gld 1B1* – 23,5%, *Gld 1B6* – 8,8%, *Gld 1B11* – 3,0%, *Gld 1B12* – 2,9%, *Gld 1D1* – 79,5% и новый *Gld 1B23Y* – 3,0%. Наконец, аллели глиадина можно расположить в следующем порядке по частоте встречаемости: *Gld 1D1 > Gld 1B3 > Gld 1B1 > Gld 1A5 > Gld 1A4 > Gld 1A10 > Gld 1A6 > Gld 1A16 > Gld 1A15 > Gld 1A3 > Gld 1A19 > Gld 1B6 > Gld 1B11 > Gld 1B12 > Gld 1B21 > Gld 1B23* (таблица).

В результате электрофоретического анализа (метод А-ПААГ) запасных белков глиадина в зерне мягкой пшеницы сорта Алтынбашаг были выявлены блоки аллельных компонентов: *Gld 1A4* в глиадин-кодирующем локусе хромосомы 1А, который контролирует синтез запасных белков. Также идентифицированы аллели.

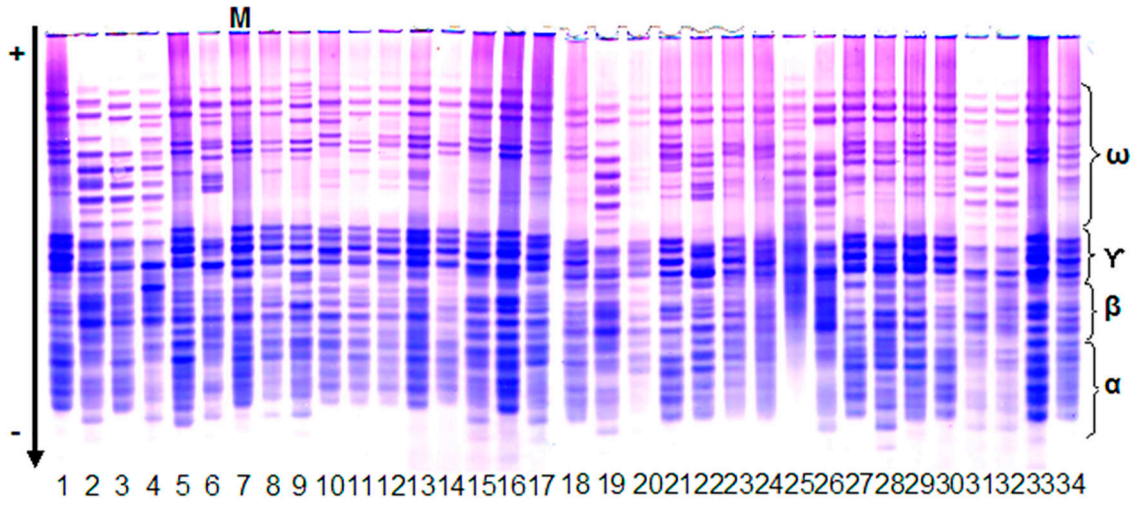


Рис. 1. Электрофорограммы глиадина местных и интродуцированных образцов мягкой пшеницы: 1 – Алтынбашаг; 2 – Угур; 3 – Тале-38; 4 – Азаматли-95; 5 – 130/121 (T. aestivum L.); 6 – 130/32 (T. aestivum L.); 7 – Безостая-1 (marker); 8 – Анза; 9 – Румели; 10 – Гийметли 2/17; 11 – Нурлу 99; 12 – Сема; 13 – Джумхурийет; 14 – Гырмызыгюл 1; 15 – Дейирман; 16 – Хазри; 17 – Гобустан; 18 – Дагташ; 19 – Саратовская; 20 – Топхана; 21 – Гюлаблы; 22 – Хангызы; 23 – Фидан 98; 24 – Екинчи-84; 25 – Пиршахин 1; 26 – Гюнешли; 27 – Балатон; 28 – Байрактар; 29 – Гаудио; 30 – Каллио; 31 – Юка; 32 – Батико; 33 – Ясаул; 34 – Аран
Примечание: составлено авторами

Генетические формулы локусов, кодирующих глиадин, у сортов мягкой пшеницы

№	Наименование образца	Gld1A	Gld1B	Gld1D	Gld 6A	Gld 6B	Gld 6D
1	Алтынбашак	4	3	1	9	9	1
2	Угур	4	1	1	1	1	4
3	Тале-38	4	3	3	1	2	1
4	Азаматли-95	6	3	1	4	1	3
5	130/121 (*T. aestivum* L.)	10	6	1	4	3	4
6	130/32 (*T. aestivum* L.)	16	23 Y	1	1	3	10
7	Безостая-1 (marker)	4	1	1	1	1	1
8	Анза	4	1	1	1	2	2
9	Румели	4	1	5	14	2	1
10	Гийметли-2/17	5	1	1	2	2	2
11	Нурлу-99	5	3	1	4	2	2
12	Сема	5	1	1	4	1	1
13	Джумхурийет	4	3	1	9	2	9
14	Гырмызыгюл-1	5	1	1	2	2	2
15	Дейирман	5	12	1	10	8	7
16	Хазри	16	11	1	9	6	4
17	Гобустан	5	21	1	4	2	3
18	Дагдаш	4	1	1	1	1	3
19	Саратовская-29	5	4	1	1	1	1
20	Топхана	15	6	1	11	7	10
21	Гюлаблы	19	3	8	2	4	4
22	Хангызы	7	3	8	9	7	3
23	Фидан-98	10	3	1	3	6	3
24	Акинчи-84	3	3	1	1	1	1
25	Пиршахин-1	6	3	5	1	1	1
26	Гюняшли	5	3	3	2	1	2
27	Балатон	5	3	1	9	4	2
28	Байрагтар	4	6	1	3	9	2
29	Гаудио	5	3	1	8	6	3
30	Каллио	15	3	1	11	1	10
31	Юка	10	3	1	2	2	9
32	Батико	10	3	1	8	11	7
33	Ясаул	16	18	1	10	1	1
34	Аран	6	4	8	1	1	1

Примечание: составлено авторами.

Были идентифицированы аллели в сорте мягкой пшеницы Джумхурийет: *Gld 1A4* в локусе *Gld 1A, Gld 1B3* в локусе *Gld 1B, Gld 1D1* в локусе *Gld 1D, Gld 6A9* в локусе *Gld 6A, Gld 6B2* в локусе *Gld 6B и Gld 6D9* в локусе *Gld 6D*. Идентифицированы следующие блоки аллельных компонентов в сорте мягкой пшеницы Дайирман: *Gld 1A5* в локусе *Gld 1A, Gld 1B12* в локусе *Gld 1B, Gld 1D1* в локусе *Gld 1D*, *Gld 6A10* в локусе *Gld 6A*, *Gld 6B8* в локусе *Gld 6B, Gld 6D7* в локусе *Gld 6D*. Также были идентифицированы блоки аллельных компонентов *Gld 1A 16* в локусе *Gld 1A* нового сорта мягкой пшеницы Хазри, редкие аллели *Gld 1B11* в локусе *Gld 1B, Gld 1D1* в локусе *Gld 1D, Gld 6A10* в локусе *Gld 6A, Gld 6B6* в локусе *Gld 6B* и *Gld 6D4* в локусе *Gld 6D*. В местном сорте мягкой пшеницы Топхана также выявлены аллели *Gld 1A15* в локусе *Gld 1A*, *Gld 1D1* в локусе *Gld 1D*, *Gld 6A11* в локусе *Gld 6A*, *Gld 6B7* в локусе *Gld 6B* и *Gld 6D10* в локусе *Gld 6D* (рис. 2).

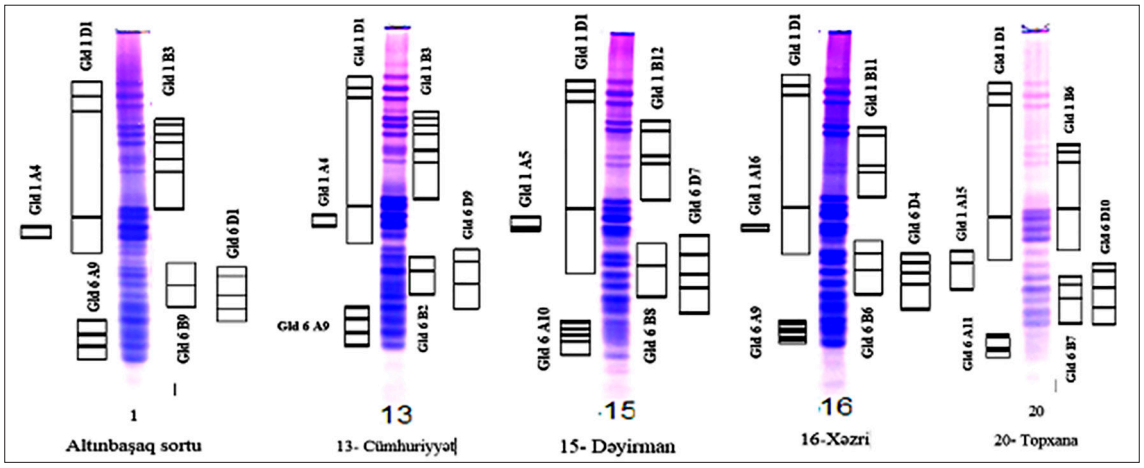


Рис. 2. Блоки аллельных компонентов глиадина, выявленных у сортов мягкой пшеницы Алтынбашаг, Джумхурийет, Дейрман, Хазри и Топхана
Примечание: составлено авторами

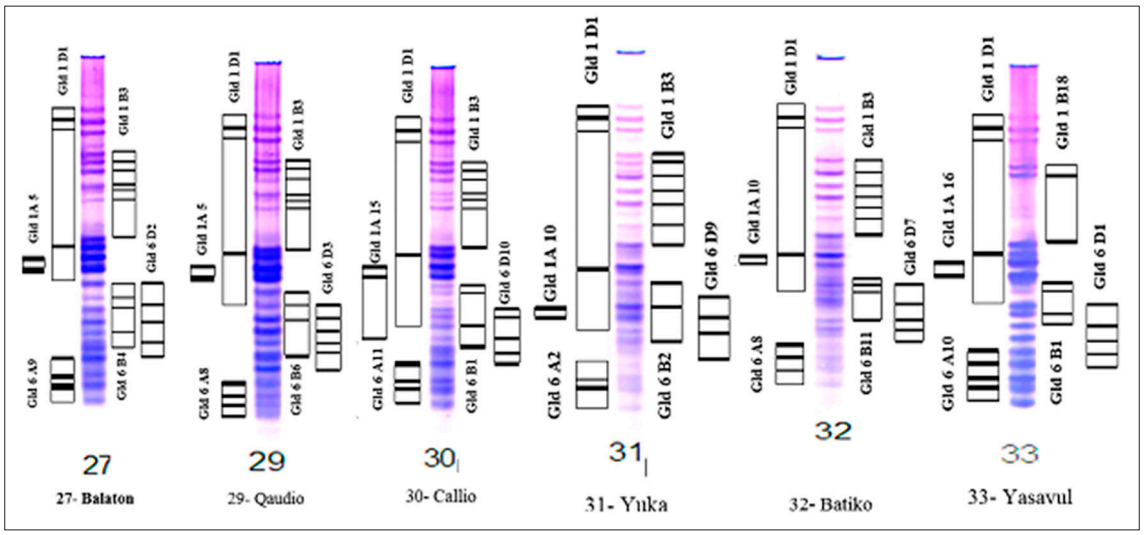


Рис. 3. Блоки аллельных компонентов глиадина, выявленные на электрофореграммах сортов мягкой пшеницы Балатон, Квадийо, Каллио, Юка, Батико и Ясавул, интродуцированных из России
Примечание: составлено авторами

Для сорта Квадийо были определены аллели Gld 1A5 в локусе Gld 1A, Gld 1B3 в локусе Gld 1B и Gld 1D1 в локусе Gld 1D. Эти же аллели были обнаружены и у сорта Балатон. Кроме того, были выявлены различные аллели в локусах Gld 6A (Gld 6A8), Gld 6B (Gld 6B6) и Gld 6D (Gld 6D3).

В интродуцированном сорте мягкой пшеницы Каллио в глиадин-кодирующем локусе Gld 1A был идентифицирован уникальный аллель Gld 1A15, тогда как в локусах Gld 1B (Gld 1B3) и Gld 1D (Gld 1D1) были обнаружены те же аллели, что и у ранее упомянутых сортов. Однако в локусах Gld 6A (Gld 6A11), Gld 6B (Gld 6B1) и Gld 6D (Gld 6D10) были выявлены различные аллели.

Анализ показал, что аллели в глиадин-кодирующих локусах Gld 1A, Gld 1B и Gld 1D у интродуцированных российских сортов мягкой пшеницы были идентичны, тогда как аллели в локусах Gld 6A, Gld 6B и Gld 6D значительно различались. Наиболее часто встречающиеся аллели не только адаптировались к данным условиям, но и были широко распространены в местной среде. В частности, аллель Gld

1D1 в глиадин-кодирующем локусе Gld 1D чаще встречается в новых селекционных сортах, а также в древних народных сортах.

У интродуцированных сортов мягкой пшеницы Yuka и Batiko блоки аллельных компонентов глиадина в локусах Gld 1A (Gld 1A10), Gld 1B (Gld 1B3) и Gld 1D (Gld 1D1) были одинаковыми. Однако у сорта Юка были идентифицированы различные блоки аллельных компонентов глиадина: Gld 6A2 в локусе Gld 6A, Gld 6B2 в локусе Gld 6B и Gld 6D9 в локусе Gld 6D. У сорта Батико были выявлены следующие различные аллели: Gld 6A8 в локусе Gld 6A, Gld 6B11 в локусе Gld 6B и Gld 6D7 в локусе Gld 6D.

В интродуцированном сорте мягкой пшеницы Ясавул были выявлены различные аллели: Gld 1A16 в локусе Gld 1A и Gld 1B18 в локусе Gld 1B, а также известный аллель Gld 1D1 в локусе Gld 1D. Кроме того, были определены блоки аллельных компонентов глиадина Gld 6A10 в локусе Gld 6A, Gld 6B1 в локусе Gld 6B и Gld 6D1 в локусе Gld 6D (рис. 3).

Во время анализа исследований было установлено, что частота встречаемости блоков аллельных компонентов глиадина у новых местных образцов мягкой пшеницы варьировалась. В частности, среди мягких сортов пшеницы чаще всего встречались аллели Gld 1A5 и Gld 1A4 в глиадин-кодирующих локусах хромосомы 1A, Gld 1B1 и Gld 1B3 в глиадин-кодирующих локусах хромосомы 1B, а также Gld 1D1 в глиадин-кодирующих локусах хромосомы 1D по сравнению с блоками Gld 1A15, Gld 1A16 и Gld 1A6. В новых сортах мягкой пшеницы Гюлаблы и Хангызы был обнаружен блок аллельных компонентов глиадина Gld 1D8, который не встречался у других сортов. Этот глиадиновый блок ранее был зафиксирован только у старого сорта мягкой пшеницы Аран.

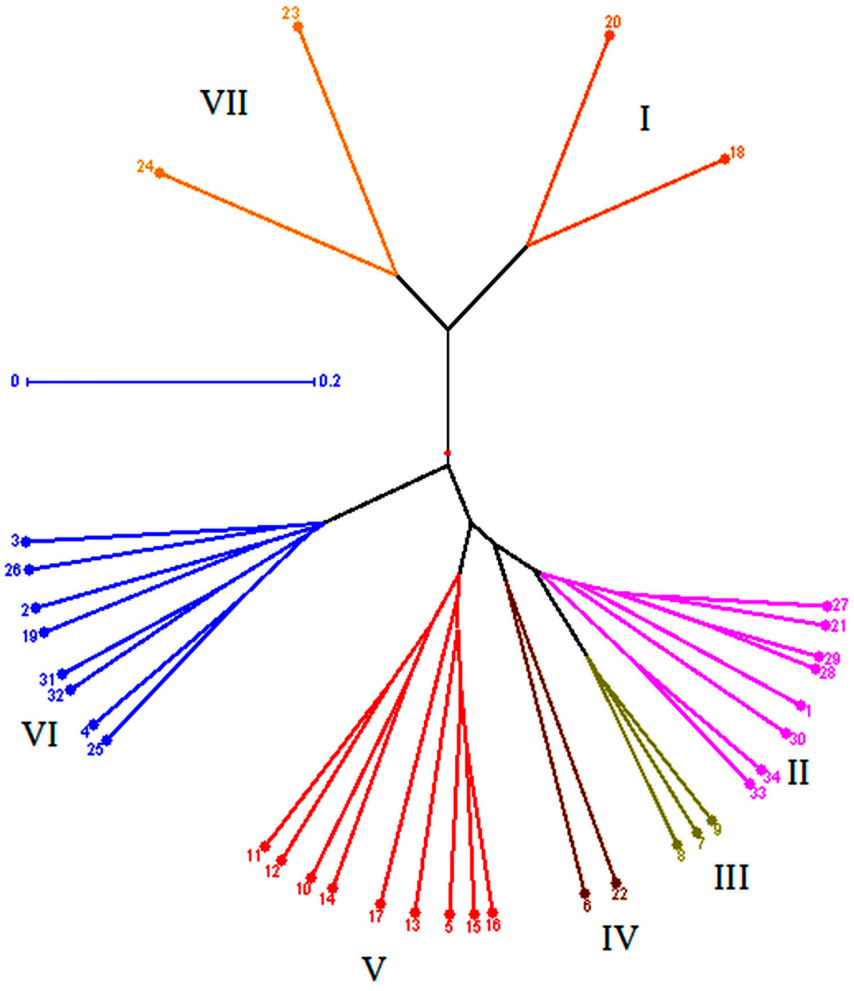


Рис. 4. Дендрограмма, отражающая генетическое родство образцов мягкой пшеницы с запасными глиадиновыми белками
Примечание: составлено авторами

После экстракции запасных глиадиновых белков из зерен местных и интродуцированных образцов мягкой пшеницы и проведения их электрофоретического анализа полосы (электрофоретический спектр) были пронумерованы методом бинарной номенклатуры «1» и «0». Совпадающие полосы обозначались «1», а отсутствующие в соответствующей области – «0». Генетическое родство было определено методом Жаккара. Для оценки генетической близости образцов использовалась компьютерная программа Darwin 6, с помощью которой была построена дендрограмма, отражающая генетическое родство образцов мягкой пшеницы на основе маркеров глиадиновых белков.

Как видно на рисунке 4, дендрограмма разделена на 7 основных групп. Сорта под номерами 18 и 20 (Dağdaş и Topxana) локализовались в первом кластере и генетически значительно отличались от остальных образцов. Образцы под номерами 1, 21, 27, 28, 29, 30, 33 и 34 сгруппировались во втором кластере. Маркерный сорт Безостая-1, а также образцы Анза и Румели находились в третьем кластере. Образцы 130/32 (T. aestivum L.) и Ханкызы были отнесены к четвертому кластеру. Генотипы с номерами 5, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 и 17 сформировали пятый кластер.

В шестом кластере разместились образцы с номерами 2, 3, 4, 19, 25, 26, 31 и 32, а сорта Фидан-98 и Экинчи-84 попали в седьмой кластер. На основе результатов кластерного анализа можно сделать вывод, что генетически удаленные образцы могут быть использованы в будущих селекционных программах (рис. 4).

В ходе исследования местных и интродуцированных сортов мягкой пшеницы, в зависимости от объема их генетической базы, можно сделать вывод, что проведенные анализы полностью оправдали себя. Было установлено, что глиадиновые аллели с более высокой частотой встречаемости (Gld 1D1, Gld 1A5, Gld 1A4, Gld 1A10, Gld 1A16, Gld 1B3, Gld 1B1 и Gld 1B6) хорошо адаптированы к климатическим условиям Азербайджанской Республики. С другой стороны, была проведена идентификация электрофореграмм глиадиновых белков новых сортов, и эти сорта могут быть использованы в качестве исходного материала для селекции в будущем как родительские формы.

Кроме того, прогрессивное преимущество электрофоретического анализа глиадиновых запасных белков заключается в том, что он позволяет не только быстро характеризовать генотипы, которые находятся близко друг к другу по белковым маркерам, но и обнаруживать гетерогенные сорта. Поэтому на основе состава компонентов глиадиновых запасных белков можно определить генетическую чистоту образцов. В связи с этим был определен сортовой полиморфизм внутри сортов, основанный на составе этих белков. В ходе исследования, путем определения генетической маркерной ценности аллелей глиадин-кодирующих локусов, контролирующих синтез глиадиновых запасных белков, была достигнута возможность использования маркерной селекции на основе белков.

Выводы

1. У 34 образцов местной и интродуцированной мягкой пшеницы, на основе маркера известного сорта Bezostaya-1**,** было установлено, что частота встречаемости аллелей локусов, кодирующих глиадин**,** у сортов азербайджанского, турецкого и российского происхождения различается**.**

2. В сортах мягкой пшеницы на локусах, кодирующих глиадины (Gld 1A, Gld 1B, Gld 1D, Gld 6A, Gld 6B, Gld 6D), было идентифицировано 43 известных глиадиновых аллеля, а у образца 130/32 T. aestivum L. на локусе Gld 1B был выявлен новый компонентный блок глиадинового аллеля Gld 1B 23Y.

3. На основе анализа дендрограммы, построенной на основе глиадиновых запасных белков, было установлено, что сорта Дагдаш и Топхана, расположенные в первом кластере, а также сорта Фидан-98 и Экинчи-84, сгруппированные в седьмом кластере, генетически удалены друг от друга.

Список литературы

1. Пенева Т.И., Мартыненко Н.М., Кудрявцева Е.Ю. Анализ по спектрам глиадина генетической структуры устойчивых к бурой ржавчине образцов тритикале из коллекции // Биотехнология и селекция растений. 2019. № 2. С. 6-13. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-2-6-13.

2. Копусь М.М., Ионова Е.В., Марченко Д.М. Проламины зерна пшениц – от биохимии к генетике и селекции // Зерновое хозяйство России. 2019. № 4. С. 54-60. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-64-4-54-60.

3. Wang D.W., Li D., Wang J. et al. Genome-wide analysis of complex wheat gliadins, the dominant carriers of celiac disease epitopes // Sci Rep. 2017. Vol. 16. Is. 7. № 44609. DOI: 10.1038/srep44609.

4. Altenbach S.B., Chang H.-C., Simon-Buss A., Mohr T., Huo N., Gu Y.Q. Exploiting the reference genome sequence of hexaploid wheat: A proteomic study of flour proteins from the cultivar Chinese Spring // Funct. Integr. Genom. 2020. Vol. 20. С. 1–16. DOI: 10.1007/s10142-019-00694-z.

5. Аббасов М.А. Генотипирование образцов мягкой пшеницы (*T. aestivum* l.) Азербайджана на основе kasp технологии // Успехи современного естествознания. 2019. № 8. С. 7-12. URL: https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37175 (дата обращения: 03.07.2025).

6. Новосельская-Драгович А.Ю., Беспалова Л.А., Шишкина А.А., Мельник В.А., Упелниек В.П., Фисенко А.В., Дедова Л.В., Кудрявцев А.М. Генетика изучение генетического разнообразия сортов мягкой озимой пшеницы по глиадинкодирующим локусам // Генетика. 2015. № 51 (3). С. 324-333. DOI: 10.7868/S0016675815030108.

7. Yakymchuk R.A. Analysis of gliadin-encoding loci in mutant plants of winter wheat, induced by technogenic contamination of natural environment // Fiziol. rosl. genet. 2017. Vol. 49. No. 5. P. 405-413. DOI: 10.15407/frg2017.05.405.

8. Urade R., Sato N., Sugiyama M. Gliadins from wheat grain: an overview, from primary structure to nanostructures of aggregates // Biophys Rev. 2018 Apr. Vol. 10(2). P. 435-443. DOI: 10.1007/s12551-017-0367-2.

9. Губарева Н.К., Гаврилюк И.П., Конарев А.В. Идентификация сортов сельскохозяйственных культур по электрофоретическим спектрам запасных белков // Аграрная Россия. 2015. № 11. С. 21-27. DOI: 10.30906/1999-5636-2015-11-21-27.

10. Cho K., Jang Y.-R., Lim S.-H., Altenbach S.B., Gu Y.Q., Simon-Buss A., Lee J.-Y. Proteomic Determination of Low-Molecular-Weight Glutenin Subunit Composition in Aroona Near-Isogenic Lines and Standard Wheat Cultivars // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22. № 7709. DOI: 10.3390/ijms22147709.

11. Янковская А.А., Фисенко А.В., Драгович А.Ю. Генетическое разнообразие сортов яровой мягкой пшеницы европейской части россии по генам VRN и PPD, определяющим сроки колошения // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Vol. 57(3). С. 332-343. DOI: 10.31857/S0016675821030061.

12. Novoselskaya-Dragovich A.Y. Genetics and genomics of wheat: Storage proteins, ecological plasticity, and immunity // Russ J Genet 51. 2015. P. 476–490. DOI: 10.1134/S102279541505004X.

13. Sewon Kim, Jae-Ryeong Sim, Yong Q Gu, Susan B. Altenbach, Sandra Denery-Papini, Florence Pineau, Olivier Tranquet, Yu-Jeong Yang, Eun Ji Park, Sun-Hyung Lim, Chon-Sik Kang, Changhyun Cho, Jong-Yeol Lee. Towards reducing the immunogenic potential of wheat flour: Identification and characterization of wheat lines missing omega-5 gliadins encoded by the 1D chromosome // Theoretical and Applied Genetics. 2023. Vol. 136. № 33. DOI: 10.1007/s00122-023-04295-0.

14. Naxin Huo,Tingting Zhu, Shengli Zhang, Toni Mohr, Ming-Cheng Luo, Jong-Yeol Lee, Assaf Distelfeld, Susan Altenbach, Yong Q Gu. Rapid evolution of α-gliadin gene family revealed by analyzing Gli-2 locus regions of wild emmer wheat // Funct Integr Genomics. 2019 Jun 13. Vol. 19(6). P. 993–1005. DOI: 10.1007/s10142-019-00686-z.

15. Melnikova N.V., Kudryavtseva A.V., Kudryavtsev A.M. Catalogue of alleles of gliadin-coding loci in durum wheat (Triticum durum Desf.) // Biochimie. 2012 Feb. Vol. 94(2). P. 551-557. DOI: 10.1016/j.biochi.2011.09.004.

УДК 631.811.98
DOI 10.17513/use.38424

АНАЛИЗ РЫНКА РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ В РОССИИ: СОСТОЯНИЕ, ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Ступин А.С.

Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, e-mail: publikatsianauka@yandex.ru

Данная работа посвящена анализу конъюнктуры российского рынка регуляторов роста растений. Представлены результаты исследования текущего состояния рынка, выявлены ключевые тенденции и определены перспективные направления развития. Установлено, что российский рынок регуляторов роста растений характеризуется стабильной динамикой роста (5–10% в год) с достижением существенных показателей совокупного оборота. Доминирующий спрос формируется в сегменте растениеводства, ориентированном на культивирование зерновых, масличных и плодоовощных культур. Конкурентная среда характеризуется высокой интенсивностью и представлена как отечественными производителями, так и транснациональными корпорациями (Bayer, BASF, Syngenta, Corteva Agriscience), предлагающими широкий спектр инновационных решений. Основными факторами, обуславливающими рост рынка, являются расширение посевных площадей, интенсификация агротехнических мероприятий и стремление сельхозпроизводителей к повышению качественных характеристик и увеличению урожайности сельскохозяйственных культур. Анализ структуры рынка выявил тенденцию к диверсификации ассортиментного ряда с включением препаратов на основе аминокислот и гуминовых кислот, а также возрастание спроса на специализированные составы, адаптированные к специфическим условиям возделывания различных культур в конкретных регионах. Отмечено усиление контроля качества реализуемой продукции и повышение уровня информированности аграриев о преимуществах использования регуляторов роста растений. Перспективы развития рынка связываются с необходимостью разработки и внедрения инновационных решений, обеспечивающих адаптацию к изменяющимся климатическим условиям и соответствие требованиям экологической безопасности. К числу приоритетных направлений относятся создание комплексных и специализированных препаратов, разработка технологий микрокапсулирования активных веществ и внедрение биорегуляторов. В качестве сдерживающих факторов выделены консерватизм части сельхозпроизводителей, высокая стоимость препаратов, административные барьеры при регистрации новых продуктов и недостаточная осведомленность аграриев, что обуславливает необходимость оптимизации регуляторных процедур, повышения информационно-просветительской работы, усиления контроля качества и обеспечения финансовой поддержки сельхозпроизводителям.

Ключевые слова: регуляторы роста растений, рынок, Россия, состояние, тенденции, перспективы

ANALYSIS OF THE MARKET FOR PLANT GROWTH REGULATORS IN RUSSIA: CURRENT STATUS, TRENDS AND PROSPECTS

Stupin A.S.

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, e-mail: publikatsianauka@yandex.ru

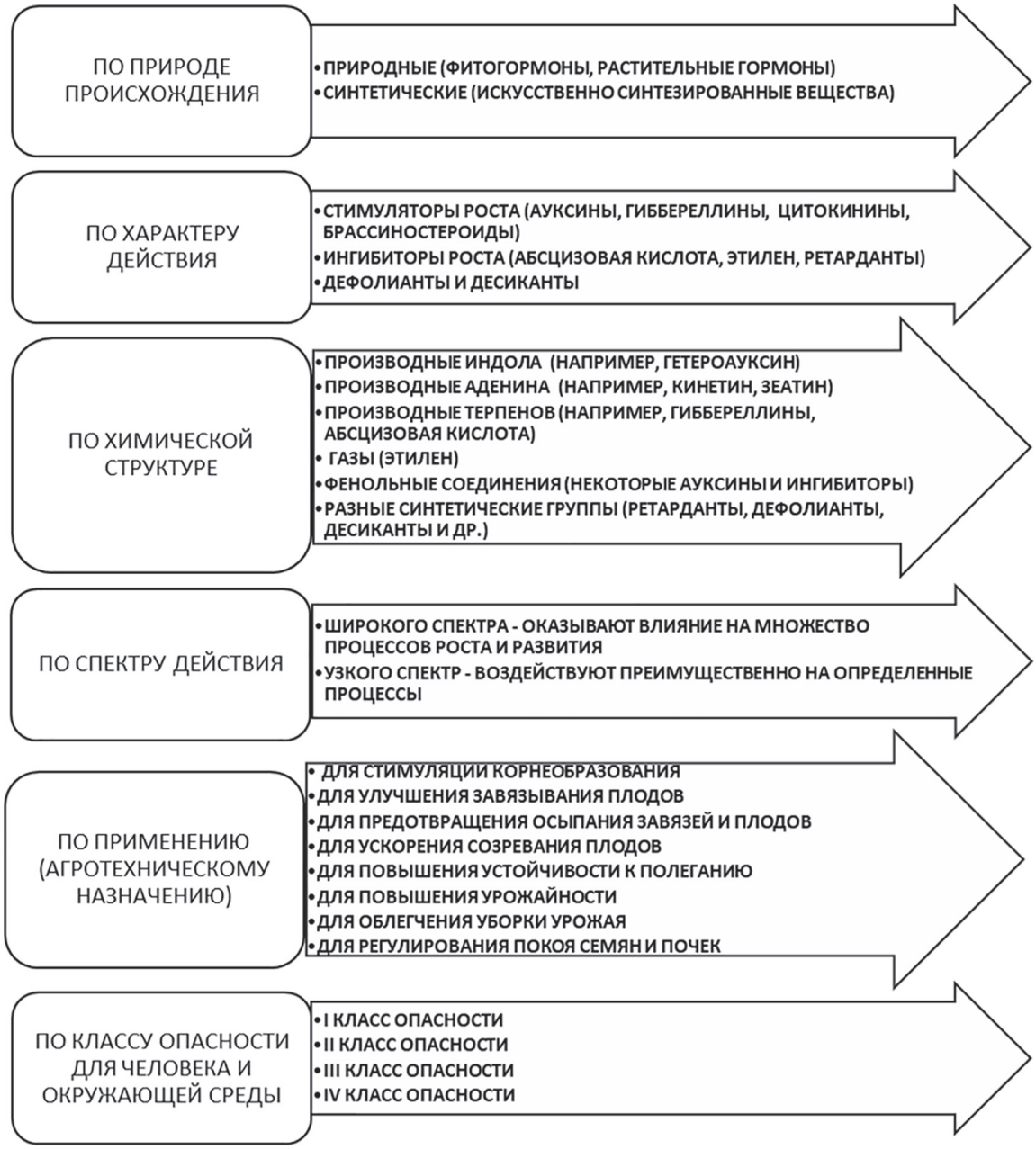
This work is dedicated to the analysis of the situation in the Russian market for plant growth regulators. The results of the study on the current state of the market are presented, key trends are identified, and promising areas for development are determined. It has been established that the Russian market for plant growth regulators is characterized by stable growth dynamics (5-10% per year) with significant indicators of total turnover. Dominant demand is formed in the crop production segment, focused on the cultivation of grain, oilseed, and vegetable crops. The competitive environment is characterized by high intensity and includes both domestic producers and transnational corporations (“Bayer”, “BASF”, “Syngenta”, “Corteva Agriscience”) that offer a wide range of innovative solutions. The main factors driving market growth are the expansion of arable land, the intensification of agronomic practices, and the desire of agricultural producers to improve quality characteristics and increase the yield of agricultural crops. The analysis of market structure revealed a trend towards diversification of the product range, including amino acid and humic acid-based preparations, as well as an increasing demand for specialized formulations adapted to the specific cultivation conditions of various crops in particular regions. There is a noted strengthening of quality control over the products being sold and an increase in farmers’ awareness of the benefits of using plant growth regulators. The prospects for market development are linked to the necessity of developing and implementing innovative solutions that ensure adaptation to changing climatic conditions and compliance with ecological safety requirements. Priority areas include the creation of complex and specialized drugs, the development of technologies for microencapsulation of active substances, and the implementation of bioregulators. The restraining factors identified are the conservatism of some agricultural producers, the high cost of drugs, administrative barriers in the registration of new products, and insufficient awareness among farmers, which necessitates the optimization of regulatory procedures, the enhancement of informational and educational work, the strengthening of quality control, and the provision of financial support to agricultural producers.

Keywords: Plant growth regulators, market, Russia, status, trends, prospects

Введение

В современном интенсивном земледелии для получения стабильных и высоких урожаев сельскохозяйственных культур важную роль играют регуляторы роста растений, при помощи которых управляют физиологическими процессами, оптимизируют рост и развитие растений, а также улучшают качество продукции и повышают устойчивость к абиотическим и биотическим стрессам. На сегодняшний день на рынке представлены различные регуляторы роста растений, представляющие собой широкий спектр химических соединений и биологически активных веществ (рисунок).

В настоящее время на рынке доминируют синтетические аналоги ауксинов, гиббереллинов и цитокининов, составляющие около 70% рынка. Однако наблюдается рост интереса к биорегуляторам, доля которых в 2023 году составила 15% и продолжает расти [1].



Классификация современных регуляторов роста растений
Источник: составлено автором на основании [1; 2]

Наибольшую долю занимают стимуляторы роста (40%) и ретарданты (30%), используемые для увеличения урожайности и предотвращения полегания зерновых культур [2]. Основными потребителями регуляторов роста растений являются производители зерновых (45%) и масличных (30%) культур [3, с. 87-89]. На рынке преобладают жидкие формы (65%) благодаря удобству применения и высокой эффективности [4, с. 47-48].

По данным аналитического агентства IndexBox, в 2023 году объем рынка регуляторов роста растений в России составил 18,5 млрд рублей, что на 12% больше, чем в 2022 году [1]. Рост рынка обусловлен увеличением посевных площадей, расширением применения технологий интенсивного земледелия и повышением спроса на качественную сельскохозяйственную продукцию. Анализ структуры рынка показывает, что наибольшая доля приходится на регуляторы роста, применяемые в зерновых культурах, в частности на пшенице и ячмене. Значительный сегмент также занимают препараты, используемые в овощеводстве и садоводстве. При этом отмечается растущий интерес к специализированным регуляторам роста растений, разработанным для конкретных видов культур и учитывающим особенности их развития [5, с. 65].

Конкурентная среда на рынке регуляторов роста растений в России характеризуется присутствием как крупных международных компаний, так и отечественных производителей. К числу лидеров рынка относятся такие компании, как «Август», «Щелково Агрохим», Bayer, BASF и Syngenta. Компании активно инвестируют в разработку новых продуктов и расширение ассортимента, а также в развитие дистрибьюторской сети и техническую поддержку аграриев.

Одним из факторов, определяющих развитие рынка регуляторов роста растений в России, является государственная политика в области сельского хозяйства. Субсидирование закупок регуляторов роста растений, поддержка научных исследований и разработок, а также контроль качества продукции способствуют развитию рынка и повышению эффективности сельскохозяйственного производства.

Цель исследования заключалась в изучении текущей ситуации на рынке регуляторов роста растений в России, с выявлением тенденций, определением барьеров и перспектив развития, а также предоставлением рекомендаций для участников рынка и органов государственной власти.

Задачи исследования. Провести оценку текущего состояния рынка регуляторов роста растений в России. Выявить основные тенденции развития рынка регуляторов роста растений в России. Определить перспективы развития рынка регуляторов роста растений в России. Выявить и проанализировать барьеры на пути развития рынка регуляторов роста растений в России.

Материалы и методы исследования

В рамках данного исследования проанализированы данные, полученные из открытых источников, включая статистические сборники Росстата, отчеты Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, публикации в специализированных изданиях, а также информацию, представленную на сайтах ведущих компаний-производителей регуляторов роста растений.

Методы исследования: в ходе исследования были применены сравнительный анализ, метод аналитического сопоставления и анализ динамических временных рядов. Подтверждение надежности представленных результатов достигалось посредством использования проверенных методик статистического анализа, применения официальной информации, предоставленной Федеральной службой государственной статистики, а также путем тщательной оценки обоснованности сделанных заключений.

Практическая значимость исследования рынка регуляторов роста растений в России высокая для большого круга сторон, позволяет принимать обоснованные решения, разрабатывать эффективные стратегии и достигать конкретных целей. Анализ рынка регуляторов роста растений для производителей и дистрибьюторов позволяет определить перспективные направления развития, в том числе биопрепаратов и специализированных продуктов, разработать эффективные маркетинговые и ценовые стратегии, расширить географию продаж, анализировать конкурентную среду и планировать производственные мощности. Проведенные исследования направлены на расширение кругозора сельскохозяйственных производителей растениеводческой продукции для оптимального выбора регуляторов роста, используемых для увеличения урожайности и качества получаемой продукции, а также снижения затрат на выращивание путем подбора средств защиты растений от стрессовых ситуаций.

Все это способствует развитию конкурентоспособности.

Сотрудники органов государственной власти проводят мониторинг регуляторов роста растений с целью корректировки государственной сельскохозяйственной политики, оценки мероприятий по господдержке и совершенствования нормативной правовой документации в данной области. Анализ рынка регуляторов роста растений научно-исследовательскими структурами выполняется для определения приоритетных направлений исследований, оценки возможностей коммерциализации разработок, получения сведений о потребностях сельскохозяйственных производителей в препаратах и дальнейшего сотрудничества, а также для предложения отечественных регуляторов роста растений. В свою очередь для инвесторов исследование дает возможность оценивать привлекательность рынка регуляторов роста растений для инвестиций, выбирать перспективные объекты, оценивать риски и возможности и разрабатывать эффективные инвестиционные стратегии.

Результаты исследования и их обсуждение

В последние годы российский рынок регуляторов роста растений демонстрирует устойчивый рост, обусловленный рядом факторов, включая расширение посевных площадей, интенсификацию сельскохозяйственного производства и повышение осведомленности аграриев о преимуществах использования данных препаратов. Согласно данным аналитических агентств, объем рынка регуляторов роста растений в России оценивается в несколько миллиардов рублей, с ежегодным приростом, варьирующимся в пределах 5-10%.

Наибольшую долю рынка занимают регуляторы роста, предназначенные для применения на зерновых, масличных и технических культурах, что отражает структуру сельскохозяйственного производства в стране. Востребованы также препараты для плодоовощной продукции, что связано с развитием тепличных комплексов и стремлением к увеличению урожайности и улучшению качества плодов и овощей.

Рынок регуляторов роста растений в Российской Федерации обладает значительным потенциалом и сложной структурой, строящейся на конкуренции между отечественными и зарубежными производителями [6, с. 120-145; 7, с. 53-55]. По данным ряда аналитических агентств, российский рынок регуляторов роста растений в последние годы демонстрирует устойчивый рост, обусловленный увеличением посевных площадей, внедрением интенсивных технологий земледелия и повышением требований к качеству сельскохозяйственной продукции [8].

Несмотря на вводимые европейскими странами санкции, российский рынок регуляторов роста растений сохраняет свою привлекательность для крупных международных корпораций. В частности, компании Bayer, BASF, Syngenta и Corteva Agriscience продолжают свою деятельность на территории Российской Федерации. Присутствие этих компаний обусловлено их широким ассортиментом продукции, развитой дистрибьюторской сетью и значительными инвестициями в исследования и разработки. В работе М.С. Петуховой [9] подчеркивается активное присутствие на российском рынке инновационных решений для растениеводства от крупнейших мировых игроков. Компании Bayer и BASF, наряду с традиционными средствами защиты, продвигают современные регуляторы роста для повышения устойчивости растений. Syngenta и Corteva Agriscience, ведущие производители средств защиты и семян, также предлагают широкий спектр инновационных решений для оптимизации ростовых процессов и улучшения качества сельскохозяйственной продукции.

В то же время отечественные производители регуляторов роста растений, такие как «Август», «Щелково Агрохим» и «Техноэкспорт», активно развивают собственные производственные мощности и расширяют ассортимент продукции и обладают рядом преимуществ, связанных с адаптацией продукции к местным почвенно-климатическим условиям и более низкими ценами [10]. Эти компании, опираясь на собственные научные разработки и учитывая специфику климатических зон России, предлагают широкий спектр регуляторов роста, адаптированных к потребностям различных сельскохозяйственных культур. АО Фирма «Август» является одним из лидеров российского рынка средств защиты растений и активно развивает направление регуляторов роста, предлагая продукты, стимулирующие рост и развитие растений, повышающие их устойчивость к болезням и неблагоприятным погодным условиям. Российский рынок регуляторов роста растений представлен не только международными, но и отечественными компаниями. АО «Щелково Агрохим» активно разрабатывает

и внедряет инновационные препараты, направленные на регуляцию роста, оптимизацию физиологических процессов и повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Компания «Техноэкспорт», в свою очередь, специализируется на создании регуляторов роста на основе микроэлементов и органических соединений, которые обеспечивают растения необходимым питанием и стимулируют их естественные механизмы защиты от неблагоприятных факторов окружающей среды.

На сегодняшний день отечественные производители предлагают на сельскохозяйственном рынке регуляторы роста с различным механизмом действия. К регуляторам роста с широким спектром действия относятся эпин-экстра и циркон (производитель: ННПП «НЭСТ М»), альбит (производитель: ООО «Альбит»), янтарная кислота (многие фармацевтические компании выпускают янтарную кислоту в таблетках, которые можно использовать в садоводстве). К регуляторам роста для корнеобразования относятся корневин (производители: «Зеленая Аптека Садовода», «Август» и др.), гетероауксин (разные компании, часто продается под разными торговыми марками, например, «Зеленая игла»). На отечественном рынке представлены и другие регуляторы и биостимуляторы, а именно рибав-экстра (производитель: ООО «Рибав»), крезацин (производитель: ООО «Ортон»), НВ-101 (японский препарат, активно продвигаемый и продаваемый российскими дистрибьюторами), энерген аква (производитель: АО «Органик парк»). Также сельхозтоваропроизводители на рынке реализуют гуминовые удобрения и стимуляторы, к которым относятся гумат+7 (производители: различные компании, например, ООО «Белая дача», ООО «Агровит» и др.), гуми-оми (производитель: разные компании, часто встречаются региональные производители).

Развитие сельского хозяйства в Центральном, Южном и Приволжском федеральных округах тесно связано с активным применением регуляторов роста растений. В этих регионах, характеризующихся обширными посевными площадями и разнообразием сельскохозяйственных культур, наблюдается наибольшее потребление средств защиты растений. Гербициды, фунгициды и инсектициды играют ключевую роль в поддержании устойчивого сельскохозяйственного производства, повышении урожайности и обеспечении продовольственной безопасности в этих округах [1].

Рыночная стоимость регуляторов роста растений определяется их составом, происхождением и рыночными условиями. Инновационные продукты, предлагаемые международными компаниями (Bayer, Syngenta, Corteva Agriscience), характеризуются более высокой ценой, отражающей их инвестиции в исследования и разработки. Отечественные аналоги отличаются более доступной ценой, что делает их привлекательными для аграриев, стремящихся к оптимизации затрат. Форма выпуска (концентраты эмульсий, водные растворы и гранулы) влияет на производственный процесс и, соответственно, на конечную цену продукта. Кроме того, рыночная конъюнктура, включая колебания валютных курсов, таможенные пошлины, транспортные расходы и сезонный спрос, оказывает значительное влияние на ценообразование на рынке регуляторов роста растений. Политическая и экономическая стабильность в стране также оказывает косвенное влияние, определяя инвестиционный климат и доступность финансовых ресурсов для аграриев. Важно отметить, что мониторинг рыночной динамики и своевременное планирование закупок позволяют сельхозпроизводителям оптимизировать расходы на приобретение средств защиты растений [11].

Производство, оборот и применение регуляторов роста растений регулируются Федеральным законом «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» [12] и другими нормативными актами. В соответствии с законодательством, все регуляторы роста растений, предназначенные для применения на территории Российской Федерации, подлежат обязательной государственной регистрации. Процедура регистрации включает оценку эффективности, токсикологическую экспертизу и экологическую оценку, чтобы гарантировать соответствие препаратов установленным стандартам безопасности.

Оборот регуляторов роста растений осуществляется под контролем уполномоченных органов, которые осуществляют мониторинг за соблюдением требований к хранению, транспортировке и реализации пестицидов и агрохимикатов. Лица, занимающиеся оборотом РРР, обязаны иметь соответствующую квалификацию и лицензии.

Применение регуляторов роста растений должно осуществляться в строгом соответствии с инструкциями и рекомендациями, разработанными производителями. Законодательство устанавливает ограни-

чения на применение определенных видов пестицидов и агрохимикатов вблизи водных объектов, населенных пунктов и других охраняемых территорий [13].

Российский рынок регуляторов роста растений стабильно растет, что объясняется стремлением аграриев к оптимизации технологий и увеличению урожайности. Прежде всего, расширяется выбор доступных препаратов. Помимо классических средств на основе гиббереллинов, ауксинов и цитокининов, всё больше востребованы продукты с аминокислотами, гуминовыми кислотами и микроэлементами, которые комплексно влияют на физиологию растений. Во-вторых, растет спрос на регуляторы, разработанные с учетом особенностей конкретных культур и климатических условий. Производители предлагают решения, адаптированные для зерновых, масличных, овощных и плодово-ягодных культур, что позволяет максимально реализовать потенциал каждого растения. В-третьих, усиливается контроль за качеством и безопасностью регуляторов роста. Государственные органы, ответственные за регистрацию и сертификацию пестицидов и агрохимикатов, ужесточают требования к составу, примесям и экологической безопасности. В-четвертых, растет осведомленность аграриев о преимуществах использования регуляторов роста. Обучающие мероприятия, консультации и демонстрационные испытания способствуют распространению современных технологий и повышению эффективности применения этих препаратов в сельском хозяйстве.

Одним из современных трендов является расширение ассортимента предлагаемых регуляторов роста растений. Наряду с традиционными препаратами на основе ауксинов, гиббереллинов и цитокининов, активно развиваются продукты, содержащие аминокислоты, гуминовые кислоты, микроэлементы и другие биостимуляторы. Данные комплексные препараты нацелены на оптимизацию физиологических процессов растений и повышение их устойчивости к стрессовым факторам [14]. В последние годы отмечается рост спроса на специализированные регуляторы роста растений, разработанные для конкретных сельскохозяйственных культур и агроклиматических зон. Учитывая разнообразие условий выращивания в России, производители предлагают решения, адаптированные для зерновых, масличных, овощных и плодово-ягодных культур, что способствует повышению эффективности применения. Усиление контроля качества и безопасности регуляторов роста растений со стороны государственных регулирующих органов оказывает значительное влияние на рынок [15]. Ужесточение требований к регистрации, сертификации и содержанию действующих веществ стимулирует производителей к разработке более безопасных и экологичных продуктов. Повышение уровня информированности аграриев о преимуществах и особенностях применения регуляторов роста растений является важным фактором развития рынка. Проведение обучающих семинаров, демонстрационных испытаний и консультаций с экспертами способствует распространению передовых технологий и оптимизации использования регуляторов роста растений в сельскохозяйственном производстве [16].

Перспективы развития рынка регуляторов роста растений в России определяются несколькими ключевыми факторами, включая растущий спрос на высококачественную сельскохозяйственную продукцию, необходимость повышения урожайности в условиях меняющегося климата и ужесточение требований к экологической безопасности применяемых технологий. Современный рынок регуляторов роста растений демонстрирует отчетливую тенденцию к разработке препаратов комплексного действия, которые не только стимулируют ростовые процессы, но и существенно повышают адаптационный потенциал сельскохозяйственных культур к неблагоприятным факторам окружающей среды. В качестве приоритетного направления выделяется разработка специализированных регуляторов, учитывающих физиологические особенности отдельных видов растений и специфику региональных агроклиматических условий. Применение дифференцированного подхода, основанного на глубоком анализе разнообразия климатических зон и почвенных типов, позволяет оптимизировать эффективность применения каждого препарата, минимизируя риски и максимизируя урожайность. Инновационные технологии, такие как микрокапсулирование и нанотехнологии, открывают новые перспективы в повышении контролируемости и эффективности высвобождения действующих веществ, обеспечивая пролонгированное действие, снижение негативного воздействия на окружающую среду и точную оптимизацию дозировок, что соответствует принципам устойчивого развития сельского хозяйства. Особое внимание будет уделяться развитию биологических

регуляторов роста, основанных на микроорганизмах, ферментах и других природных соединениях. Это направление соответствует общемировой тенденции к экологически безопасному сельскому хозяйству и позволяет снизить зависимость от синтетических препаратов.

Российский рынок регуляторов роста растений демонстрирует перспективы роста благодаря стремлению к повышению эффективности сельского хозяйства и продовольственной безопасности. Расширение использования биорегуляторов, внедрение инноваций и развитие отечественного производства способствуют развитию рынка [17; 18]. Сдерживающие факторы включают: консервативность мышления аграриев, недостаточную информированность о преимуществах и применении регуляторов роста, высокую стоимость препаратов (особенно зарубежных), административные барьеры в процессе регистрации и сертификации, а также несовершенство системы контроля качества, что приводит к фальсификации и контрабанде. Преодоление выявленных проблемных аспектов требует скоординированных усилий, направленных на повышение информированности заинтересованных сторон, оптимизацию регуляторной среды, усиление контроля качества продукции и поддержку национального производства.

Рынок регуляторов роста растений обладает существенными перспективами, однако для их реализации требуются изменения в сторону упрощения процедуры регистрации новых препаратов. Эта процедура должна согласовываться с современными требованиями к экологической безопасности и токсикологической оценке. Существующая процедура регистрации регуляторов роста растений длительна, что приводит к увеличению издержек и сроков вывода продукции на рынок. Также наблюдаются недостаточная осведомленность сельхозпроизводителей о преимуществах и правилах применения регуляторов роста, снижающая эффективность их использования; распространение контрафактной продукции, наносящей вред урожаю и экологии; недостаточный контроль оборота препаратов, способствующий распространению некачественной продукции. Экономические факторы, такие как высокая стоимость препаратов и ограниченная доступность финансирования, ограничивают использование регуляторов роста растений, особенно в небольших хозяйствах. Преодоление этих барьеров требует упрощения процедуры регистрации, повышения информированности аграриев, усиления контроля за качеством продукции и предоставления финансовой поддержки производителям.

Российский рынок регуляторов роста растений имеет значительный потенциал для дальнейшего развития. Рост спроса на экологически чистую продукцию, государственная поддержка, развитие цифровых технологий и технологический прогресс создают благоприятные условия для развития рынка. Для успешного развития бизнеса на рынке регуляторов роста растений необходимо учитывать тенденции, факторы, влияющие на рынок, и потребности аграриев.

Заключение

Рынок регуляторов роста растений в России демонстрирует устойчивый рост, обусловленный стремлением к повышению урожайности и качества сельскохозяйственной продукции. Ключевыми факторами, влияющими на рынок, являются государственная поддержка сельского хозяйства, увеличение посевных площадей и расширение использования интенсивных технологий.

На рынке представлены как отечественные, так и зарубежные производители, предлагающие широкий ассортимент продукции. При этом наблюдается тенденция к увеличению спроса на биостимуляторы и регуляторы роста на основе натуральных компонентов, что связано с повышением экологической осведомленности потребителей и ужесточением требований к безопасности продукции.

Перспективы развития рынка регуляторов роста растений в России связаны с дальнейшим внедрением инновационных технологий, разработкой новых эффективных препаратов и расширением спектра их применения в различных отраслях сельского хозяйства. Важным фактором является также развитие системы консультационной поддержки сельхозпроизводителей и повышение их осведомленности о преимуществах использования регуляторов роста растений.

Список литературы

1. Тареев А.И., Березнов А.В., Смирнов В.В. и др. Мировой рынок химических средств защиты растений: потенциальные потери урожая, тренды и перспективы производства пестицидов для экономики России // Техника и технология пищевых производств. 2024. № 2. С. 310-329. DOI: 10.21603/2074-9414-2024-2-2508.

2. Вакуленко В.В. Влияние регуляторов роста на урожайность сельскохозяйственных культур в различных зонах России // Зерновое хозяйство России. 2015. № 1. С. 48-54. URL: https://www.zhros.online/jour/article/view/207/207 (дата обращения: 15.05.2025).

3. Сибиряев А.С. Итоги функционирования сельского хозяйства РФ в 2023 году: вызовы будущего // Вестник НГИЭИ. 2024. № 4 (155). DOI: 10.24412/2227-9407-2024-4-99-110.

4. Захаренко В.А. Рынок пестицидов в России и перспективы его развития. Защита и карантин растений. 2014. № 11. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rynok-pestitsidov-v-rossii-i-perspektivy-ego-razvitiya (дата обращения: 15.05.2025).

5. Лысов А.К. Проблемы применения средств защиты растений и пути снижения их техногенного воздействия на окружающую среду // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 3 (116). С. 34-51. DOI:10.24412/2713-2641-2023-3116-34-50.

6. Захаренко В.А. Современное состояние и перспективы экономики применения пестицидов в агроэкосистемах России // Агрохимия. 2021. № 5. С. 68–83. DOI: 10.31857/S0002188121050148.

7. Князева Т.В. Регуляторы роста растений в Краснодарском крае: монография. Краснодар: ЭДВИ, 2013. 128 с. ISBN 978-5-901957-94-3.

8. Мосякина О.И., Лексикова В.В. Стимуляторы корнеобразования и регуляторы роста растений // Научный журнал молодых ученых. 2016. № 1 (6). С. 94-97. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/stimulyatory-korneobrazovaniya-i-regulyatory-rosta-rasteniy (дата обращения: 15.05.2025).

9. Петухова М.С., Орлова Н.В. Приоритетные направления научно-технологического развития защиты сельскохозяйственных растений в России и мире // IACJ. 2021. № 2. DOI: 10.24411/2588-0209-2021-10310.

10. Черченко О.В., Кураков Ф.А. Оценка глобальных трендов и конкурентоспособности отечественных научно-технологических заделов в области растениеводства // Экономика науки. 2016. № 4. С. 18-24. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-globalnyh-trendov-i-konkurentosposobnosti-otechestvennyh-nauchno-tehnologicheskih-zadelov-v-oblasti-rastenievodstva (дата обращения: 15.05.2025).

11. Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В. Перспективы развития методов и технических средств защиты сельскохозяйственных растений // Агроинженерия. 2021. № 1 (101). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-26-35.

12. Федеральный закон от 19.07.1997 № 109-ФЗ (ред. от 28.06.2021) «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами». Собрание законодательства РФ. 1997. № 29. Ст. 3510. URL: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=492613 (дата обращения: 15.05.2025).

13. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». Собрание законодательства РФ. 2002. № 2. Ст. 133. URL: https://www.consultant.ru (дата обращения: 17.05.2025).

14. Саратцева Е.А., Дабахов М.В. Органическое сельское хозяйство: перспективы развития в России с учетом международного рынка // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2024. № 2. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-2-136-146.

15. Годин В.В., Белоусова М.Н., Белоусов В.А. Терехова А.Е. Сельское хозяйство в цифровую эпоху: вызовы и решения // E-Management. 2020. № 1. С. 4-15. DOI: 10.26425/2658-3445-2020-1-4-15.

16. Заровная Ю.С. Конкурентоспособность и качество сельскохозяйственной продукции // Национальные приоритеты России. 2023. № 1 (48). С. 70-75. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/konkurentosposobnost-i-kachestvo-selskohozyaystvennoy-produktsii (дата обращения: 12.05.2025).

17. Акмаров П.Б., Князева О.П. Оценка эффективности государственной поддержки сельского хозяйства // Научные труды Вольного экономического общества России. 2020. № 3. С. 451-456. DOI: 10.38197/2072-2060-2020-223-3-451-456.

18. Тарасов С.С., Михалёв Е.В., Речкин А.И., Крутова Е.К. Регуляторы роста и развития растений: классификация, природа и механизм действия // Агрохимия. 2023. № 9. С. 65–80. DOI: 10.31857/S0002188123090120.

СТАТЬИ

УДК 504.4(282.256.16)
DOI 10.17513/use.38425

АНАЛИЗ МИГРАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ВЫЯВЛЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ (НА ПРИМЕРЕ КУЛУНДИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ И ДОЛИНЫ РЕКИ ИРТЫШ)

Барышников С.Г.

ФГБУН Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, Барнаул, e-mail: sbaryshnikov18@gmail.com

В статье характеризуются природные условия бесприточной части бассейна р. Иртыш с позиций их влияния на формирование стока и миграцию поверхностных вод. Актуальность работы обусловлена тем, что в годы повышенной влажности наблюдается движение вод по сухим тальвегам и ложбинам стока, что сопровождается подтоплением населенных пунктов, многие из которых располагаются в ложбинах стока и на поверхностях озерных террас. Цель исследования – анализ миграции поверхностных вод на основе выявления гидрологической связи между водными объектами Кулундинской низменности и долины р. Иртыш. Результаты геоинформационного моделирования геоморфологического строения ключевых участков позволили установить пути миграции вод. Признаки гидрологической связи между западной частью дельты Касмалинской ложбины стока прослеживаются в особенностях микрорельефа и строении отложений днища этой дельты. Доказательством существования подземного и поверхностного водоотвода со стороны западной части Кулундинской низменности в долину Иртыша служат озера, расположенные на высокой террасе Иртыша и питающиеся за счет разгрузки грунтовых вод ложбины стока. Между озерами, расположенными на днищах ложбин стока, периодически устанавливается гидрологическая связь, по этой причине изменяется количественное соотношение озер и солончаков. Прогнозировать перестройку гидрологической сети в условиях вариаций стока можно на основе крупномасштабных геоморфологических схем, созданных с использованием цифровых моделей рельефа. Они позволяют уточнить западную границу бесприточной части бассейна Иртыша и создать основу для моделирования хода чрезвычайных гидрологических ситуаций.

Ключевые слова: бессточные территории, река Иртыш, бесприточный участок реки, миграция поверхностных вод, ложбины стока, озера и солончаки

ANALYSIS OF MIGRATION OF SURFACE WATER BASED ON IDENTIFICATION OF HYDROLOGICAL CONNECTION BETWEEN WATER BODIES (ON THE EXAMPLE OF THE KULUNDA LOWLAND AND THE IRTYSH RIVER VALLEY)

Baryshnikov S.G.

Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, e-mail: sbaryshnikov18@gmail.com

The article characterizes the natural conditions of the inflowless part of the Irtysh River basin from the standpoint of their influence on the formation of runoff and migration of surface waters. The relevance of the work is due to the fact that in years of high humidity, water movement is observed along dry thalwegs and runoff depressions, which is accompanied by flooding of settlements, many of which are located in runoff depressions and on the surfaces of lake terraces. The aim of the study is to analyze the migration of surface waters based on the identification of the hydrological connection between the water bodies of the Kulunda Lowland and the Irtysh River Valley. The results of geoinformation modeling of the geomorphological structure of key areas made it possible to establish water migration routes. Signs of the presence of a hydrological connection between the western part of the delta and the Kasmalinskaya drainage basin can be traced in the features of the microrelief and the structure of the sediments of the delta bottom. Evidence of the existence of underground and surface drainage from the western part of the Kulunda Lowland into the Irtysh Valley are the lakes located on the high terrace of the Irtysh and fed by the discharge of groundwater from the drainage trough. Between the lakes located on the bottoms of the drainage troughs, a hydrological connection is periodically established, for this reason the quantitative ratio of lakes and salt marshes changes. It is possible to predict the restructuring of the hydrological network, in conditions of flow variations, on the basis of large-scale geomorphological schemes created using digital elevation models. They make it possible to clarify the western boundary of the inflow-free part of the Irtysh basin and create a basis for modeling the course of emergency hydrological situations in its central part.

Keywords: endorheic territories, the Irtysh River, endorheic section of the river, migration of surface waters, drainage basins, lakes and salt marshes

Введение

Центральная часть бассейна р. Иртыш располагается на северной периферии континентального сектора Евразии, для которого характерно наличие областей внутреннего стока. Существует точка зрения [1], что эта часть бассейна относится к бессточной территории (рис. 1), не имеющей связи с водоемами, относящимися к бассейну Северного Ледовитого океана.

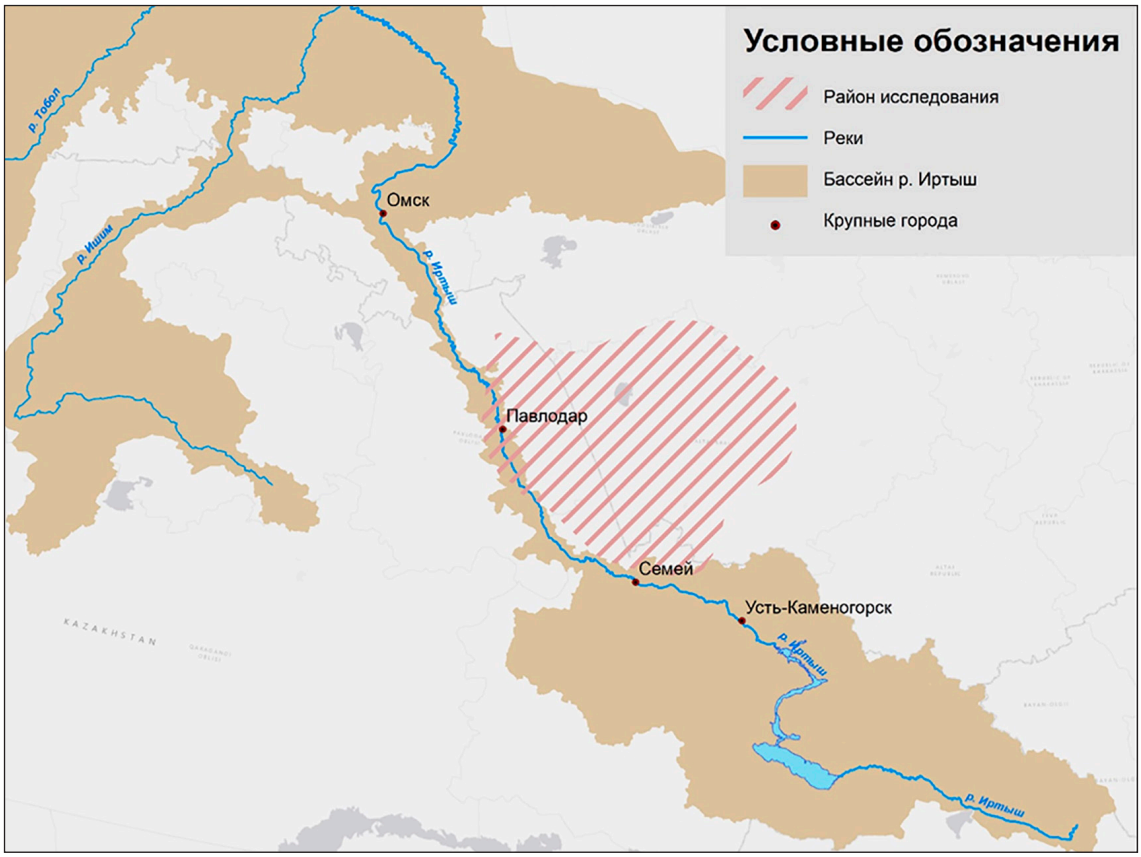


Рис. 1. Схема района исследования
Источник: составлено автором

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что в годы повышенной влажности наблюдается движение вод по сухим тальвегам и ложбинам стока. Нередко это приводит к размыву дорог и подтоплению населенных пунктов, многие из которых располагаются на поверхностях озерных террас (г. Славгород, г. Экибастуз, с. Рождественское, с. Михайловское, с. Буланбай и многие другие) и первых надпойменных речных террас (г. Павлодар, с. Иртышск и др.). Эффект неожиданности наводнений обусловлен традиционным восприятием данной территории как засушливой и бессточной. Вода приходит с полей или других участков, которые считаются областями внутреннего стока. Применение методов геоинформационного моделирования позволяет установить пути миграции вод и создать основу для предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Цель исследования – анализ миграции поверхностных вод на основе выявления гидрологической связи между водными объектами Кулундинской низменности и долины р. Иртыш.

Материалы и методы исследования

В настоящее время накоплен ценный опыт применения ГИС-технологий для оценки природных условий юга Западной Сибири [2; 3].

Методика данного исследования включала полевые наблюдения, анализ крупномасштабных топографических карт и палеогеографических данных, создание цифровых моделей рельефа (ЦМР) SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), а на их основе – геоморфологических картосхем, с учетом данных натурных наблюдений.

Построение ЦМР и анализ морфометрических показателей рельефа производились в программном пакете ArcGIS. Построение крупномасштабной (1:25000) цифровой модели рельефа позволило выделить поверхности, возвышающиеся над днищами озерных котловин, суффозионных западин и ложбин стока на 0,3–0,5 м (рис. 2).

Результаты исследования и их обсуждение

Детальное изучение геоморфологического строения поверхности центральной

части бассейна Иртыша, изобилующей озерными котловинами, позволило установить, что многие озера выстроены в цепочки и приурочены к ложбинам стока разных размеров. В годы повышенной водности по ложбинам происходит движение поверхностных вод, но постоянных водотоков, впадающих в Иртыш, на отрезке реки от г. Семей до г. Омска нет. По этой причине можно рассматривать данную часть бассейна как бесприточную, что не исключает наличия поверхностного, но не руслового стока, направленного к долине Иртыша. Б.П. Ткачев [4, с. 80–85] также обратил внимание на условный характер «бессточности» части данной территории. На примере северо-западного фрагмента бесприточной части бассейна Иртыша он выделил систему ландшафтно-гидрологических комплексов: стокоформирующих дренированных водоразделов; транзитных систем русло – пойма; дренированных склонов междуречий и долин рек; останцовых барьерных водоразделов; автономных, изолированных от нижних пачек отложений водоупорными горизонтами, поверхностей; аккумулирующих бессточных котловин; сезонно-переменных (временные озера, водотоки, сухие тальвеги, балки, овраги, конусы выноса) и антропогенно-преобразованных (поля орошения, в том числе лиманного, и обводненные пастбища). Стокоформирующие функции этих комплексов изменяются в зависимости от гидро-климатических условий конкретного года.

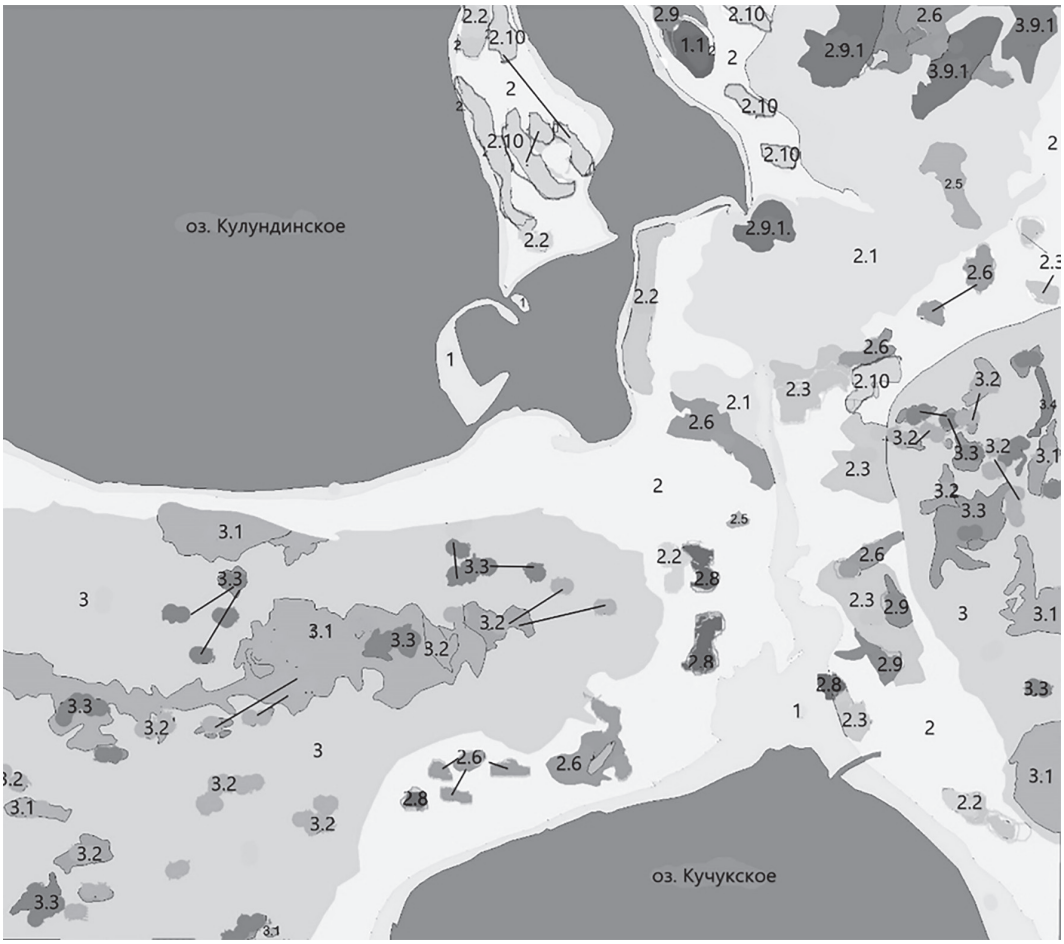


Рис. 2. Схема геоморфологического строения части котловины оз. Кулундинского и Кучукского, расположенных в западной части Кулундинской низменности (1:25 000)
Условные обозначения: 1 – средние многолетние границы современных озер: 1.1 – акватории; 2 – низкие озерные террасы: 2.1 – днища ложбинок стока; 2.2 – замкнутые понижения с высоким стоянием грунтовых вод; 2.3 – локальные водораздельные поверхности; 2.4 – слабозадернованные песчаные гряды; 2.5 – полигональные формы солончаков; 2.6 – микрозападины со стоячей водой; 2.7 – закочкаренные понижения; 2.8 – заболоченные микропонижения; 2.9 – микропонижения с галофитной растительностью; 2.10 – невысокие песчаные гряды с древесной растительностью; 3 – высокие озерные террасы: 3.1 – выровненные поверхности; 3.2 – слабоволнистые поверхности; 3.3 – неглубокие понижения с высоким стоянием грунтовых вод; 3.4 – ложбины стока
Источник: составлено автором

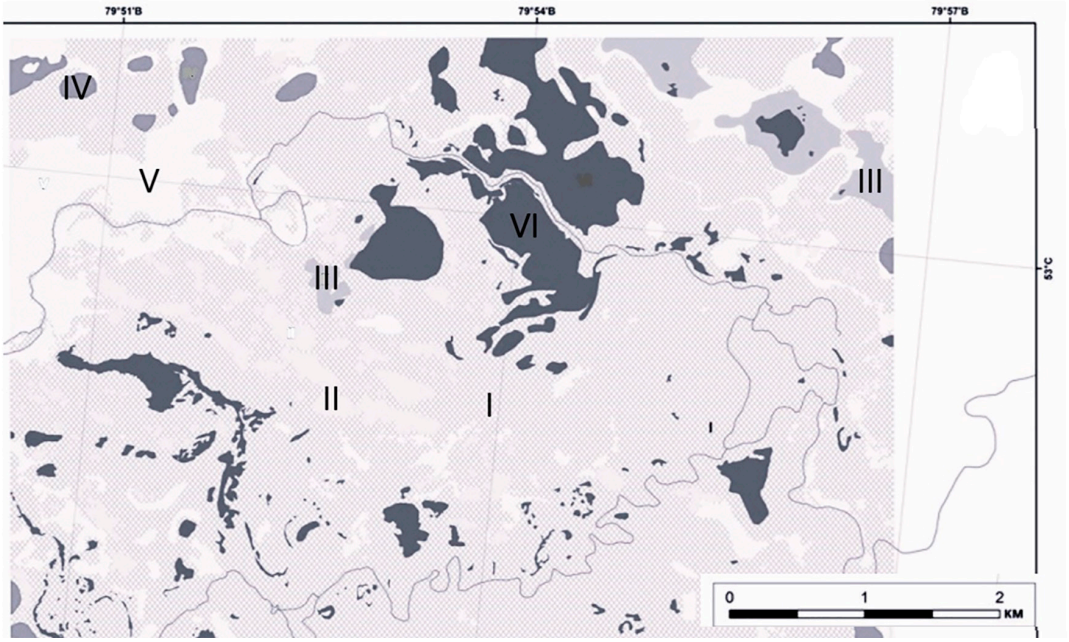


Рис. 3. Геоморфологическая схема ключевого участка, расположенного западнее оз. Топольного (1:50 000).
Элементы рельефа: I – склоны водораздельных поверхностей; II – приподнятые стокоформирующие водораздельные поверхности; III – сезонно переменные ложбины стока, осложненные суффозионными западинами и озерными котловинами; IV – аккумулирующие суффозионные западины с озерами; V – ложбины стока; VI – автономные изолированные водораздельные поверхности
Источник: составлено автором

Строение района исследования отражает не только организацию современных гидрологических объектов, но и события геологического прошлого, когда эта территория была ареной господства флювиальных процессов. Кульминация их активности пришлась на конец Сартанского времени. В результате таяния горных ледников Алтая формировались мощные потоки воды, впадающие в реку Иртыш [5, с. 191, 219; 6]. Эти потоки оставили след на поверхности Приобского плато и Кулундинской низменности в виде широких ложбин стока. Их дельтовые части можно наблюдать в правобережье Иртыша, где водоразделы чередуются с ложбинами стока, направленными в сторону современного русла реки.

Автором статьи исследовалась часть данной территории. На основе натурных наблюдений и ЦМР построена геоморфологическая схема ключевого участка, расположенного западнее оз. Топольного (район г. Славгорода) (рис. 3).

Закартированы: микрозападины, западины, котловины и ложбины стока, глубина которых изменяется от нескольких десятков сантиметров до десятков метров. Построена схема уклонов поверхности и направлений движения водных масс, выявлены элементы рельефа, аккумулирующие воду. Это позволило установить сезонно-переменные озера, временные водотоки и тальвеги с сезонным движением вод. Например, оз. Большое Топольное соединяется неглубокой ложбиной стока с оз. Большой Ажмулат, а оно через относительно узкую ложбину стока, с цепочкой озер продолговатой формы, имеет гидрологическую связь с долиной Иртыша в районе пос. Карасук. В этом районе происходит разгрузка грунтовых вод, перемещающихся по ложбинам.

На территории ключевого участка, расположенного в окрестностях оз. Малинового, были изучены отложения дельты Касмалинской ложбины стока. В основании песчаных гряд, возвышающихся над днищем ложбины на 3–5 м, и межгрядовых понижений вскрываются пески аллювиального происхождения. В разрезе эоловой гряды, покрытой молодым разреженным сосновым лесом (рис. 4), сверху вниз обнажаются: современная подзолистая почва, слой тонкозернистого пылеватого песка ($eolQ_4$) мощностью около 2,5 м с погребенной почвы, находящейся на глубине 0,35–0,40 м, и пачка отложений мощностью около 2 м, в которой чередуются прослойки среднезернистого песка бурого цвета и крупнозернистого песка (alQ_4).

Рис. 4. Сосновый лес на эоловой гряде (А) и разрезы отложений межгрядового понижения (Б) в районе оз. Малинового
Условные обозначения: А – фото оз. Малинового и эоловой гряды, покрытой сосновым лесом; Б – отложения межгрядового понижения с осоковым лугом: 1 – тонкозернистый песок с включениями корней (eolQ_4); 2 – тонкозернистый песок (eolQ_4); 3 – тонкозернистый песок с прослойками торфа и окиси железа (eol-h Q_4); 4 – крупнозернистый песок (al Q_4); 5 – влажный крупнозернистый песок с косой слоистостью, пятнами и подтеками окиси железа (al Q_4)
Источник: составлено автором

В смежном с грядой понижении сверху вниз залегают: слой влажного тонкозернистого песка (eolQ_4) мощностью около 2 м с включениями корней в верхней части и прослойкой торфа мощностью 0,5–0,7 м на глубине 0,8 м; ниже находится слой влажного крупнозернистого песка (al Q_4) с косой слоистостью, пятнами и подтеками окиси железа. Строение эоловых гряд и межгрядовых понижений свидетельствует о том, что в прошлом по этой ложбине происходило движение воды. В настоящее время наблюдаются: высокое стояние грунтовых вод, многочисленные озера-соры, солончаки или низинные луга, которые питаются грунтовыми водами, разгружающимися у подошв песчаных гряд.

На основе ЦМР с учетом данных натурных наблюдений построена геоморфологическая схема, которая позволяет установить не только ход сокращения обводненности территории в геологическом прошлом, но и современную последовательность пополнения водами озерных котловин и ложбин стока в годы высокой водности (рис. 5).

Размеры пересохшего водоема, существовавшего в прошлом на территории Солено-Озерной степи, показаны на рис. 5. В его былых границах находится большая часть современных озер данного ключевого участка. Комплекс озер через ложбину стока имеет периодическую гидрологическую связь с оз. Горьким и оз. Черным, расположенным в тыловой части высокой надпойменной террасы р. Иртыш.

Четвертая и третья надпойменные террасы Иртыша имеют генетическую связь с озерно-аллювиальной равниной. На некоторых участках бассейна высокие террасы Иртыша образуют с ней единую поверхность, осложненную многочисленными котловинами и ложбинами стока, сформировавшимися в Казанцевское межледниковье (145 тыс. лет назад) [7]. Эти элементы рельефа различаются характером отложений (таблица). По данным бурения, проведенного специалистами Новосибирского геологического управления, севернее г. Семей обнаружена погребенная долина Пра-Иртыша. Между Павлодаром и Омском она прослеживается в левобережье современной реки. Ширина погребенной долины достигает 10–15 км. Ее отложения представлены 40-метровой толщей мелкозернистых песков серого цвета с прослоями глин в верхней части и галечниками в основании. В правобережье Иртыша осадки древней долины наблюдаются в основании четвертой надпойменной террасы. Эти отложения могут послужить источниками пресных вод для нужд населения и сельского хозяйства.

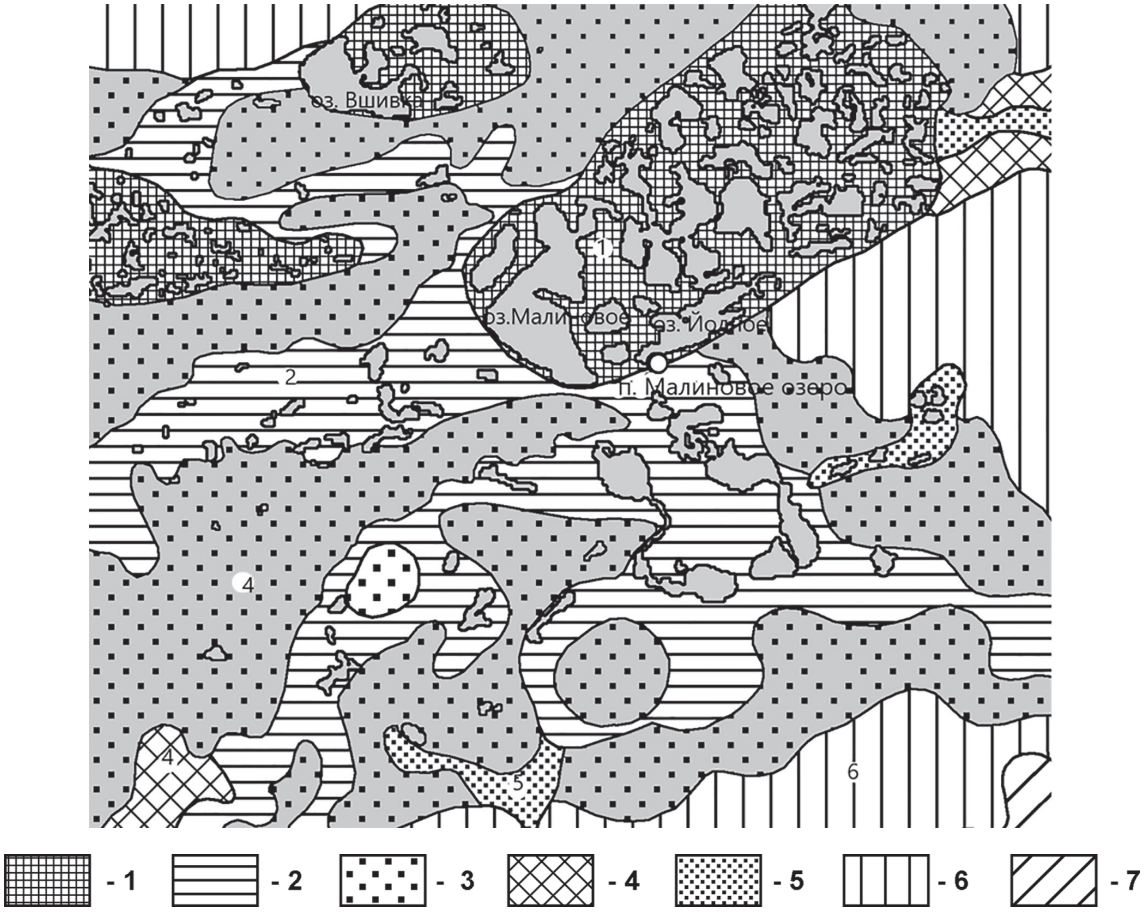


Рис. 5. Геоморфологическая схема территории, прилегающей к оз. Малиновому. Элементы рельефа: 1 – низкие озерные террасы; 2 – днища ложбин стока; 3 – террасовые поверхности ложбин стока, осложненные эоловыми грядами; 4 – останцы террасовых поверхностей; 5 – балки с долинами малых водотоков; 6 – высокие террасы ложбин стока; 7 – склоны ложбин стока
Источник: составлено автором

Комплекс отложений озерно-аллювиальной равнины образуют: глины, суглинки, супеси и пески четвертичного периода, в основании которых залегают глины и суглинки неогенового возраста, играющие роль водоупоров. В таких отложениях существуют аккумулирующие бессточные котловины. Отложения древних ложбин стока представлены песками разного генезиса и не являются препятствием на пути миграции грунтовых вод, как и осадки третьей и четвертой надпойменных террас Иртыша.

На поверхности третьей и четвертой террас встречаются участки гривно-ложбинного рельефа и эродированного рельефа дельтовых частей ложбин стока, которые представляют собой продолжение ложбин стока, расположенных на Кулундинской низменности. Озера тыловых частей этих террас встречаются на всем их протяжении. Как и озера тыловой части второй надпойменной террасы, они пополняются за счет разгрузки грунтовых вод, мигрирующих по вышележащим поверхностям.

Устройство поверхности и литологический состав основных элементов рельефа (таблица) существенно влияет на формирование стока. Характер отложений определяет величину поверхностного задержания или инфильтрации вод. По песчаным отложениям вода мигрирует в замкнутые понижения, часть из которых не имеет гидрологической связи с долиной реки Иртыш. Многочисленные мелководные остаточные озера глубиной до метра, так же как древние ложбины стока, свидетельствуют о былой обводненности территории. Некоторые озера имеют глубину более 3–4 м и площадь до 900 м. Например, Селетытениз и Кулундинское. Озера, как правило, суффозион-

но-просадочного генезиса. Суффозионные процессы, то есть вынос частиц осадочных пород потоком подземных вод, активны и в настоящее время, что доказывает движение подземных вод в сторону речной долины, а значит, и гидрологическую связь многих озер бесприточной части бассейна Иртыша с рекой.

Характеристика элементов рельефа бесприточной части бассейна Иртыша

Элемент рельефа	Положение на территории бассейна	Абсолютная; относительная высота, м	Характер отложений	Характерные формы рельефа
Пойма	Вдоль русла Иртыша повсеместно	60–65; 3–8	На отдельных участках пойма имеет цоколь из пород третичного или среднеплейстоценового времени	Многочисленные прирусловые валы, старицы, рукава-протоки, русловые понижения, выровненные участки центральной и заболоченной прирусловой поймы
Первая надпойменная терраса	Сплошной полосой вдоль левого берега Иртыша	70–80; 6–12	Разрез образуют суглинисто-глинистые отложения пойменно-старичной фации и супесчано-песчаной русловой фации. До уреза воды мощность отложений составляет 4–8 м. Пачка русловых фаций распространяется ниже уровня воды	Реликтовые формы пойменно-руслового рельефа в виде линейно-вытянутых понижений – бывших стариц и русел. В тыловой части прослеживаются цепочки озер, питающиеся от разгрузки грунтовых вод более высокой террасы
Вторая надпойменная терраса	Преобладает вдоль левого борта долины Иртыша	90; 15–18	Русловые песчаные фации, которые в верхней части разреза перекрыты пойменно-старичными иловатыми суглинками и супесями. Мощность аллювия: 5–12 м. В цоколе третичные, реже среднеплейстоценовые отложения. Высота цоколя над урезом воды составляет 5–8 м	Волнистая поверхность с фрагментами сглаженного ложбинно-гривистого рельефа и выровненных поверхностей с котловинами озер в тыловой части
Третья надпойменная терраса	Сплошной полосой в левобережье Иртыша	100; 25	Аллювиальные супеси, пески, залегающие на грубозернистых, плохо отсортированных гравелистых песках со слабо- и средне окатанной галькой. Мощность аллювия 5–15. В его основании отложения неогена или олигоцена. Цоколь террасы приподнят над урезом реки на высоту 10–18 м	Котловины с озерами и солончаками в тыловой части Плоская, наклонная в сторону Иртыша поверхность, осложненная замкнутыми понижениями и впадинами, некоторые из которых заняты солеными озерами или солончаки. Встречаются участки гривно-ложбинного рельефа
Четвертая надпойменная терраса	Располагается выше по течению (г. Павлодар)	130: 40–50	Аллювиальные пески и галечники в основании отложения русловой фации Пра-Иртыша, которые ложатся с размывом на отложения третичного времени	Котловинно-западинный рельеф, многочисленные озера и болота в тыловых частях. Встречаются участки эродированного рельефа дельтовых частей ложбин стока
Озерно-аллювиальная равнина	Исследуемая часть долины Иртыша, выработана в отложениях озерно-аллювиальной равнины	100–130	Комплекс озерно-аллювиальных отложений (глины, суглинки, супеси и пески), в основании которых залегают глины и суглинки неогенового возраста	Суффозионный рельеф, грядово-западинный рельеф. Ложбины стока, наклоненные в сторону долины Иртыша

Источник: составлено автором с опорой на данные [7; 8].

На территории исследования суффозия работает в комплексе с эоловыми процессами [9; 10]. С поверхности суффозионных западин ветер сносит субстрат и формирует котловины выдувания. Перемещенные частицы породы участвуют в строительстве эоловых гряд. Такая работа ветра характерна для областей с континентальным климатом. Индекс континентальности климата по Л. Горчинскому (k) изменяется на территории исследования от 58 до 62, что характеризует ее климат как континентальный. Годовые амплитуды температуры воздуха ($At_{год}$) достигают от -33,1 до 38,3 °С, что также характерно для континентального климата [11, с. 54–55].

Умеренный континентальный климат района исследования характеризуется средней январской температурой -17 – -19 °С, ее минимальные значения могут достигать -50 °С. Снежный покров сохраняется 150–160 дней, его мощность в среднем не превышает 30 см. Метелевый перенос уменьшает мощности снега на водоразделах, в таких условиях почва промерзает до глубины 1,0–1,5 м, что определяет ход весеннего снеготаяния и половодья. Весна короткая с суховеями. Средние температуры июля изменяются от +18 до +22 °С, могут достигать +38 – +42°С. Годовое количество осадков 300–350 мм. Около 85–95% годовой суммы осадков испаряется, что определяет особенности формирования стока и выбор технологий орошения сельхозугодий; к сожалению, на территории исследования до сих пор применяется дождевание. Летом также наблюдаются суховеи и пыльные бури, во время которых относительная влажность воздуха падает до 11–15%. Коэффициент увлажнения изменяется от 0,5 до 0,7 [12]. В экстремальных климатических условиях для питания водоемов велико значение подземного стока. Грунтовые воды в районе исследования залегают неглубоко, а в понижениях рельефа становятся причиной формирования болот и солончаков. Насыщенные влагой субстраты не способны аккумулировать дополнительные объемы воды. Она в периоды интенсивного снеготаяния и ливневых осадков начинает перемещаться от одной цепочки озер к другой. Населенные пункты, расположенные в ложбинах стока или на поверхностях озерных террас, испытывают последствия такого движения и подъема грунтовых вод в годы повышенной влажности. Миграция поверхностных и подземных вод определяет ритмику изменчивости количества и площадей озер. Н.В. Глушковой и др. [13] установлено, что в северной части района исследования с 1989 по 2001 г. происходило уменьшение площадей солончаков на 1,6% и увеличение площадей озер на 0,43%, появилось около 12 новых озер. С 2001–2008 гг. площадь солончаков приросла на 1,1%, четыре озера высохли, но появились семь новых озер. За период с 1989 по 2011 г. солончаков стало больше, а озер меньше. На территории ключевого участка, расположенного в районе оз. Малинового, с 1989–2001 гг. происходил рост площадей озер и уменьшение числа солончаков, а с 2001 по 2008 г. в засушливых условиях происходило увеличение площадей солончаков за счет пересыхания мелководных озер [3; 14]. Изменение численности озер и солончаков происходит в объект в ложбинах стока, на водораздельных поверхностях их соотношение более стабильно.

Прогнозировать перестройку гидрологической сети сложно, так как в районе исследования нет прямой зависимости между подземной и поверхностной составляющими стока. Его величина определяется не только количеством осадков, но и мощностью снежного покрова в конкретный год, фильтрационными свойствами субстрата, влажностью воздуха и интенсивность испарения. По отношению к средним многолетним значениям (100–300 мм) годовой слой поверхностного стока в маловодные годы может снижаться на 30% от среднего, а в многоводные годы увеличивается в 5–6 раз. Усиление экстремальности климата, которое сопровождается ростом повторяемости осадков ливневого характера [15; 16], также усложняет прогноз гидрологических событий. На природные условия ритмического изменения стока [17; 18] накладывается также влияние антропогенного фактора: объектов транспортной, промышленной и социально-бытовой инфраструктуры, мелиоративных систем. Например, зарегулированность стока рек прудами и водохранилищами (рис. 1) привела к тому, что на рассматриваемом участке бассейна срезаны пики весеннего половодья, поднялись меженные уровни, а также уровни грунтовых вод выше плотин водохранилищ, происходят подпорные явления.

Использование ЦМР для создания схем геоморфологического строения территории позволяет установить пути миграции вод, последовательность заполнения котловин и ложбин стока водными массами в периоды разной водности и создать основу для моделирования хода чрезвычайных гидрологических ситуаций.

Заключение

На поверхности Кулундинской низменности располагаются древние ложбины стока, их дельтовые части примыкают к долине Иртыша. На днищах этих элементов рельефа находятся современные озера и солончаки, между которыми периодически устанавливается гидрологическая связь. Признаки современной миграции поверхностных и грунтовых вод в сторону долины Иртыша прослеживаются в уклонах поверхности и строении отложений днища дельты Касмалинской ложбины стока. Доказательством существования подземного и поверхностного водоотвода со стороны западной части Кулундинской низменности в долину Иртыша служат озера и болота, расположенные в тыловой части высокой террасы Иртыша и питающиеся за счет разгрузки грунтовых вод ложбины стока.

Прогнозировать перестройку гидрологической сети в условиях вариаций стока можно на основе крупномасштабных геоморфологических схем, созданных с использованием цифровых моделей рельефа. Схемы позволяют уточнить западную границу бесприточной части бассейна Иртыша и создать основу для моделирования хода чрезвычайных гидрологических ситуаций.

Список литературы

1. Мезенцева О.В. Ресурсы суммарного климатического местного стока на юге Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2009. № 318. С. 223–229. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/resursy-summarnogo-klimaticheskogo-mestnogo-stoka-na-yuge-zapadnoy-sibiri (дата обращения: 04.07.2025).

2. Чупина Д.А., Зольников И.Д. Геоинформационное картографирование форм и типов рельефа на основе морфометрического анализа // Геодезия и картография. 2016. № 6. С. 35–43. URL: https://geocartography.ru/scientific_article/2016_6_35-43 (дата обращения: 04.07.2025).

3. Чупина Д.А., Зольников И.Д., Смоленцева Е.Н., Лащинский Н.Н., Никулина А.В., Картозия А.А. Геоинформационное картографирование территории по реакции к иссушению и увлажнению (юг Западно-Сибирской равнины) // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2018. № 81–90 81–90. URL: https://izvestia.igras.ru/jour/issue/view/41?locale=ru_RU (дата обращения: 04.07.2025). DOI: 10.1134/S2587556618050047.

4. Ткачев Б.П. Бессточные области юга Западной Сибири. Структура и динамика. Томск: Томский государственный университет, 2001. 158 с. ISBN 5-7511-1451-5.

5. Малолетко А.М. Эволюция речных систем Западной Сибири в мезозое и кайнозое. Томск: Томский государственный университет, 2008. 288 с. [Электронный ресурс]. URL: http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000350177 (дата обращения: 04.07.2025). ISBN 5-94621-266-4.

6. Зыкина В.С., Зыкин В.С., Маликова Е.Л. Лёссово-почвенная последовательность и эоловый рельеф плейстоцена Западной Сибири: хронология и особенности их формирования // Геоморфология и палеогеография 2024. Т. 55. № 2. С. 34–62. URL: https://journals.rcsi.science/2949-1789/article/view/276397/255346 (дата обращения: 04.07.2025).

7. Вольвах Н.Е., Курбанов Р.Н., Вольвах А.О., Зыкина В.С., Хащевская Д.Е., Булард Я.П., Мюррей Э.С. Первые результаты люминесцентного датирования лессово-почвенных серий юга Западной Сибири (опорный разрез Ложок). Известия РАН. Серия географическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 284–301. URL: https://izvestia.igras.ru/jour/article/view/1298/772 (дата обращения: 04.07.2025). DOI: 10.31857/S2587556621020151.

8. Зыкина В.С., Зыкин В.С., Вольвах Н.Е., Вольвах А.О. Новые данные о хроностратиграфии верхнеплейстоценовой лессово-почвенной серии юга Западной Сибири // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 500. № 2. С. 193–199. DOI: 10.31857/S2686739721100200.

9. Мезенцева О.В., Грицаенко А.Э. Количественные показатели суффозионных и карстовых процессов в Омской области // Успехи современного естествознания. 2024. № 7. С. 27–33. URL: https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=38286 (дата обращения: 04.07.2025). DOI: 10.17513/use.38286.

10. Мезенцева О.В., Грицаенко А.Э. Геоэкологическая оценка вероятности возникновения карстово-суффозионных явлений в южных районах Омской области // Успехи современного естествознания. 2025. № 1. С. 17–22. URL: https://natural-sciences.ru/en/article/view?id=38365 (дата обращения: 04.09.2025). DOI: 10.17513/use.38365.

11. Агроклиматические ресурсы Павлодарской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова. Астана, 2017. 127 с. [Электронный ресурс]. URL: https://ingeo.kz/wp-content/uploads/2017/11/ (дата обращения: 04.07.2025).

12. Мезенцева О.В., Кусаинова А.А., Тусупбеков Ж.А. Районирование территории степной зоны Северного Казахстана и сопредельной территории России по условиям тепло- и влагообеспеченности // Успехи современного естествознания. 2024. № 4. С. 50–55. URL: https://s.natural-sciences.ru/pdf/2024/4/38248.pdf (дата обращения: 04.07.2025).

13. Глушкова Н.В., Чупина Д.А., Котлер С.А. Анализ динамики засоленных комплексов для оценки степени аридизации территории Западной Сибири на основе ГИС и ДЗЗ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь – 2013. IX Международный научный конгресс (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). Новосибирск: СГГА, 2013. С. 77–81. [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-dinamiki-zasolennyh-kompleksov-dlya-otsenki-stepeni-aridizatsii-territorii-zapadnoi-sibiri-na-osnove-gis-i-dz (дата обращения: 04.07.2025).

14. Чупина Д.А., Никулина А.В., Картозия А.А. Влияние процессов иссушения/увлажнения на ландшафтные предпочтения человека на территории Барабы в голоцене // Пути эволюционной географии: материалы Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 23–25 ноября 2016 г.). М.: ИГ РАН, 2016. 784 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.old.archeo.ru/struktura-1/отдел-палеолита/pdf/2016.pdf (дата обращения: 04.07.2025).

15. Золина О.Г., Булыгина О.Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. Т. 1. С. 84–103. DOI: 10.21513/2410-8758-2016-1-84-103.

16. Шарапова А.А., Кужевская И.В., Каштанова К.А., Поляков Д.В. Характеристики экстремальных осадков на территории Западной Сибири // Географический вестник. 2017. № 3 (42). С. 88–98. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/harakteristiki-ekstremalnyh-osadkov-na-territorii-zapadnoy-sibiri (дата обращения: 04.07.2025). DOI: 10.17072/2079-7877-2017-3-88-98.

17. Паромов В.В., Земцов В.А., Копысов С.Г. Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986–2015 гг.) и прогнозирование гидроклиматических ресурсов на 2021–2030 гг. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 1. 62–74. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/klimat-zapadnoy-sibiri-v-fazu-zamedleniya-potepleniya-1986-2015-gg-i-prognozirovanie-gidroklimaticheskih-resursov-na-2021-2030-gg (дата обращения: 04.07.2025).

18. Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. Вып. 5. С. 70–81. URL: https://izvestia.igras.ru/jour/article/view/458?locale=ru_RU (дата обращения: 04.07.2025).

УДК 574:551.435.8 (470.345)
DOI 10.17513/use.38426

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ ЛАНДШАФТНОЙ ИНДИКАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ)

Масляев В.Н., Маскайкин В.Н., Евсеев А.Д., Лагутенков И.С., Терехин Д.Ю.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва», Саранск, e-mail: Maslyaevvn1960@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы организации мониторинга опасных геодинамических экзогенных процессов на локальном и региональном уровне в ландшафтах северной лесостепи Республики Мордовия. Целью исследования явилась оценка развития и распространения опасных геодинамических экзогенных процессов с использованием метода ландшафтной индикации. Исследование выполнено с использованием общенаучных методов, картографического, геоинформационного, аэрокосмического методов и методов ландшафтной индикации, позволяющих оперативно и более детально получать информацию о развитии и распространении опасных геодинамических экзогенных процессов. В статье рассмотрено содержание понятия «экзогенный процесс», приведена классификация экзогенных процессов. Кратко рассмотрена технология проведения работ по мониторингу опасных геодинамических экзогенных процессов. В ходе проведенного исследования выявлены основные факторы и общие закономерности развития и пространственного распространения опасных геодинамических экзогенных процессов. Приведены результаты дешифрирования таких опасных геодинамических экзогенных процессов, как оползнеобразование, водная эрозия, карст и заболачивание на космофотоснимках. Проведена дифференциация территории Мордовии по степени проявления активности опасных геодинамических экзогенных процессов. Составлена карта зонирования территории Мордовии по степени опасных геодинамических экзогенных процессов. Выделены участки трех степеней поражения территории опасными геодинамическими экзогенными процессами: сильная (с поражением более 25% территории), средняя (от 5 до 25% территории) и слабая (менее 5% территории). Результаты исследования способствуют совершенствованию мониторинга опасных геодинамических экзогенных процессов на локальном и региональном уровне, установлению причинно-следственных связей изменения состояния геокомпонентов ландшафтов и геологической среды, изменяющейся в ходе природных и техногенных процессов, прогнозированию негативных геоэкологических последствий хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: геоэкология, литомониторинг, экзогенные процессы, ландшафтная индикация, ландшафт, геодинамические процессы, рельеф

INVESTIGATION OF DANGEROUS GEODYNAMIC EXOGENOUS PROCESSES BY LANDSCAPE INDICATION METHOD (ON THE EXAMPLE OF FOREST-STEPPE LANDSCAPES OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA)

Maslyaev V.N., Maskaikin V.N., Evseev A.D., Lagutenkov I.S., Terekhin D.Yu.

Ogarev National Research Mordovia State University, Saransk, e-mail: Maslyaevvn1960@mail.ru

The article discusses the organization of monitoring of hazardous geodynamic exogenous processes at the local and regional level in the landscapes of the northern forest-steppe of the Republic of Mordovia. The purpose of the study was to assess the development and spread of hazardous geodynamic exogenous processes using the method of landscape indication. The study was conducted using general scientific methods, cartographic, geoinformation, and aerospace methods, as well as methods of landscape indication, which allow for prompt and more detailed information about the development and spread of hazardous geodynamic exogenous processes. The article discusses the concept of “exogenous process” and provides a classification of exogenous processes. The article provides a brief overview of the technology used for monitoring hazardous geodynamic exogenous processes. The study identifies the main factors and general patterns of development and spatial distribution of hazardous geodynamic exogenous processes. The article presents the results of deciphering hazardous geodynamic exogenous processes such as landslides, water erosion, karst, and waterlogging on space images. The territory of Mordovia has been differentiated according to the degree of activity of dangerous geodynamic exogenous processes. A map of the zoning of the territory of Mordovia according to the degree of dangerous geodynamic exogenous processes has been compiled. Three degrees of damage to the territory by dangerous geodynamic exogenous processes have been identified: severe (with more than 25% of the territory affected), moderate (from 5% to 25% of the territory), and mild (less than 5% of the territory). The research results contribute to improving the monitoring of hazardous geodynamic exogenous processes at the local and regional levels, establishing cause-and-effect relationships between changes in the state of geocomponents of landscapes and the geological environment that changes during natural and anthropogenic processes, and predicting the negative geoecological consequences of economic activities.

Keywords: geoecology, lithomonitoring, exogenous processes, landscape indication, geodynamic processes, landscape, relief

Введение

Актуальность темы исследования определяется тем, что геодинамические экзогенные процессы (эрозия, оползнеобразование, карст, суффозия, подтопление, заболачивание, просадки в суффозионных грунтах и др.) широко распространены в современных ландшафтах, формируют морфоскульптурные формы рельефа и представляют большую опасность для хозяйствующих субъектов, вызывая те или иные изменения в окружающей среде. В регионах страны для прогнозирования и предотвращения экономического ущерба, причиняемого опасными геодинамическими процессами, проводится мониторинг опасных геодинамических экзогенных процессов в общей системе литомониторинга. В последнее время данной проблематике посвящен ряд научных публикаций как теоретического, так и прикладного характера. М.А. Анаев [1] приводит результаты мониторинга склоновых процессов на территории Кабардино-Балкарии. Созданию системы литомониторинга инженерно-геологической среды г. Ханты-Мансийска посвящена работа И.Г. Ковязина [2]. Н.В. Лаврова, О.И. Кадебская, М.В. Богомаз [3] оценили развитие опасных геологических и техногенных процессов в Пермском крае. Теоретические аспекты исследования опасных геодинамических экзогенных процессов изложены в работах В.Т. Трофимова, В.А. Королева, М.А. Харькиной [4], М.В. Кустова, С.А. Тесленка, Д.А. Батина [5], А.С. Викторова, В.Н. Капралова, Т.В. Орлова [6]. В работе И.В. Глейзера, И.И. Григорьева, А.Г. Казакова, И.Е. Егорова [7] изложены методы исследования обвально-осыпных процессов в зоне осушки на правобережье Воткинского водохранилища. В приведенных работах, по нашему мнению, не достаточно внимания уделено методам ландшафтной индикации опасных геодинамических экзогенных процессов. В то же время традиционные методы мониторинга опасных геодинамических экзогенных процессов требуют значительных ресурсных и финансовых затрат. Использование методов ландшафтной индикации значительно ускоряет и делает менее затратным мониторинговые исследования.

Цель исследования – оценка развития и распространения опасных геодинамических экзогенных процессов с использованием метода ландшафтной индикации.

Материалы и методы исследования

Объект исследования – ландшафты Республики Мордовия (далее – РМ). В ходе исследования были использованы топографические карты и космофотоснимки открытого доступа, материалы Мордовского филиала ФБУ «ТФГИ по Приволжскому федеральному округу» и ООО МНП «Институт инженерных изысканий». Для проведения мониторинга экзогенных процессов используются ряд полевых и камеральных методов. Среди полевых методов следует назвать маршрутно-визуальное обследование и картографирование процессов, гидрогеологические, геодезические и геофизические исследования. К камеральным методам относятся геоинформационный, прогнозный, методы дистанционного зондирования Земли, методы ландшафтной индикации и др. Проведением работ по мониторингу экзогенных процессов могут заниматься различные геологические и экологические службы, относящиеся к МЧС, Минприроды, Роснедра.

В РМ среди опасных геодинамических экзогенных процессов на особом контроле процессы оползнеобразования. Наблюдательная сеть состоит из пяти участков дежурного обследования: оползневой участок «Булгаково» (с. Булгаково Кочкуровского муниципального района, ул. Центральная, правый борт долины р. Карнай) и оползневой участок «Набережный» (с. Ромоданово Ромодановского муниципального района, ул. Набережная и ул. Дачная, правый борт долины р. Инсар), оползневой участок «Ардатов» (г. Ардатов Ардатовского муниципального района, ул. Матросова и ул. Дючкова, правый борт р. Алатырь), оползневой участок «Ямище» (г. Краснослободск Краснослободский муниципальный район, пер. Строительный, ул. Садовая), оползневой участок «Надеждинка» (в 750 м севернее с. Надеждинка Старошайговского муниципального района, левый борт долины р. Ирсеть). Наблюдения выполняются два раза в год – весной и осенью. Оценка активности опасных процессов производится маршрутно-визуальным методом.

Результаты исследования и их обсуждение

Экзогенные процессы представляют собой совокупность внешних процессов, происходящих на земной поверхности или в верхней части литосферы [8]. Они подразделяются на три группы: выветривание, денудация и аккумуляция. Среди них наиболее часто встречаются склоновые или гравигенные процессы (оползни, осыпи, солифлюкция), флювиальные (эрозия, русловые про-

цессы), эоловые, карстово-суффозионные, техногенные (связаны с добычей полезных ископаемых) и др.

Согласно «ГОСТ Р 22.1.06–99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. Общие требования» [9] каждый вид экзогенных процессов имеет свои особенности и характеризуется определенными параметрами. Так, например, в ходе исследований оползней определяются: общая площадь пораженности территории процессом, мезо- и микроформы рельефа, площадь проявления на одном участке, объем сместившейся массы грунта, скорость смещения, частота проявления, уровень залегания грунтовых вод, фильтрационное поле, водно-физические свойства грунтов, коэффициент устойчивости склона, показатели глинистости, увлажненности, трещиноватости, уплотненности грунтов. Некоторые специалисты включают для характеристики процесса и дальнейшего прогнозирования и дополнительные показатели.

Большое влияние на развитие и распространение опасных геодинамических экзогенных процессов оказывает рельеф местности. Рельеф РМ представлен водно-ледниковой равниной (далее – ВЛР), вторичной моренной равниной (далее – ВМР) и эрозионно-денудационной равниной (далее – ЭДР). Наиболее расчлененный и сложный рельеф сформировался на юго-востоке республики. В ландшафтах ВМР доля крутых склонов небольшая. Наибольшие площади крутосклонные поверхности занимают в ландшафтах, расположенных на приводораздельных пространствах ВМР и ЭДР [10]. Таким образом, в настоящее время для прогноза развития опасных геодинамических экзогенных процессов большое значение имеют цифровые модели рельефа, построенные с помощью геоинформационных систем.

Характеристика опасных геодинамических экзогенных процессов на территории Мордовии, в существующих публикациях, отражает их отдельные виды и аспекты. Так, О.А. Зарубин, О.В. Рычкова, А.Р. Агеева [11] показали влияние опасных процессов на особенности функционирования метагеосистем региона. Оценка интенсивности протекания водно-эрозионных процессов приведена в работах В.Н. Масляева, В.Н. Маскайкина [12], В.Н. Масляева, Д.В. Курочкина, М.Р. Байчурина, В.А. Шабайкиной [13]. Результаты исследования развития оползневых процессов, подтопления и заболачивания изложены в работах А.П. Муштайкина, С.А. Тесленока, В.Н. Маскайкина [14], С.И. Рункова, Д.А. Маметьевой [15], А.А. Ямашкина, С.А. Ямащкина, О.А. Зарубина, Н.С. Мучкаевой, Е.С. Юнкман [16]. Однако приведенные работы не отражают общую картину динамики опасных геодинамических экзогенных процессов на существующих участках государственного литомониторинга в РМ.

Общие сведения о развитии опасных геодинамических экзогенных процессов в РМ (общая площадь 26,2 тыс. км^2) представлены в таблице.

Ландшафтная индикация представляет собой совокупность методов оценки состояния природно-территориальных комплексов, отдельных их компонентов и протекающих в них процессах по легко доступным для непосредственного наблюдения компонентам или аэрофотоснимкам [18]. При этом цель ландшафтной индикации – использование эктояруса, образованного физиономическими компонентами, для познания различных компонентов эндояруса.

Общие сведения о развитии опасных геодинамических экзогенных процессов в РМ

Тип процесса	Площадь (протяженность) проявлений процесса, км^2 (км)	Площадной (линейный) коэффициент пораженности процессом	Количество проявлений процесса	Частотный коэффициент пораженности процессом, ед./км^2 (ед./км)
Оползни	417,60	1,59	291	0,011
Овражная эрозия	680,70	2,60	45	0,001
Речная эрозия	484,00	5,23	37	0,004
Карст	61,53	0,23	78	0,002
Подтопление, заболачивание	320,2	1,22	159	0,006

Примечание: составлено авторами на основе источника [17].

К факторам развития оползней относят: выветривание и переувлажнение грунтов, крутизну склонов, антропогенную деятельность, в том числе дополнительную нагрузку на склон, восходящие тектонические движения, снижающие устойчивость горных пород, уничтожение древесно-кустарниковой растительности и др.

Дешифровочные признаки оползней могут включать следующие признаки. Циркообразная форма характерна для оползней в глинистых и песчано-глинистых грунтах. Для молодых оползней характерна пятнистость, связанная с бугристым или ступенчатым строением оползневых тел, наличием бугров и наплывов. Характерно образование широкой трещины-рва с отчетливо выраженной бровкой, почти полностью отделяющей тело оползня от склона. В нижней части оползня возможны выходы родников и заболоченные участки. Оползни на космофотоснимках также распознаются по наклоненным в разные стороны и разорванным стволам деревьев (так называемый «пьяный лес»). Зарастание оползня начинается через три года после его смещения. На космофотоснимке отчетливо виден главный оползневой уступ, трещины отрыва длиной 8 м и шириной до 10 см (рис. 1). Пласт грунта длиной 2,5 м, шириной 1,5 м сполз вниз по склону. Активизация оползневых процессов на оползневом участке «Булгаково» происходит в основном в весенний период.

Рис. 1. Местоположение оползневого участка «Булгаково»
Источник: составлено авторами на основе источника «Яндекс Карты»

На оползневом участке «Набережный» язык оползня зарос кустарником, стенка срыва завалена мусором. Длина активного участка оползня 18 м, ширина 16 м. В 0,5 м от стенки срыва выявлены свежие трещины отрыва. Стенка срыва почти вертикальная, высотой 0,8–1,0 м. На отдельных участках наблюдается сползание кусков дернины. На теле оползня наблюдаются валы выпирания. Подошва языка оползня упирается в р. Инсар. В целом отмечается слабая степень активизации оползневого процесса.

На оползневом участке «Ардатов» было отмечено сползание блока массы грунта длиной 21 м и шириной 5-6 м. Стенка срыва 2 м. Рядом со стенкой срыва располагается труба газопровода, что в дальнейшем может привести к его разрушению.

На оползневом участке «Ямище» наблюдения проводятся длительное время. Бровка главного уступа оползня располагается в районе ул. Центральная в непосредственной близости от РСУ. На теле оползня встречаются оползневые цирки длиной до 40 м и высотой до 1,8 м. На отдельных участках наблюдается сползание дернины. В целом отмечена низкая степень активизации оползня.

На оползневом участке «Надеждинка» активизация на оползневом цирке происходила с низкой активностью. В весенний период сползли дернины вместе с кустарником до 0,5 м длиной и 0,3 м шириной. На момент обследования расстояние от опоры до стенки главного уступа составило 2,95 м. Оползень по сравнению с прошлым годом продвинулся в сторону грунтовой дороги на 0,7 м, расстояние от стенки срыва до грунтовой дороги 2,8 м.

К факторам развития эрозии относят: климат (атмосферные осадки, формирующие поверхностный сток, перепад температур воздуха), рельеф (крутизна и экспозиция склонов), почвы (гранулометрический состав, гумусированность, водопроницаемость), литологию пород зоны аэрации, отсутствие древесно-кустарниковой растительности, антропогенный фактор.

Эрозионные формы выделяются на космофотоснимке по линейно-вытянутой форме, окраске (цвету) почв и растительности (рис. 2). Глубокая промоина на пашне имеет характерный линейный рисунок изображения, ярко выраженные очертания и отбрасываемые тени, тон от светло-серого до серого в зависимости от увлажнения и типа растительности. В промоинах часто может присутствовать густая растительность, так как они могут удерживать влагу и способствовать росту растений, а также присутствует оседание грунта и нередко эрозия окружающих почв.

Рис. 2. Развитие процессов овражной эрозии на склонах долины р. Течёра (южнее с. Куликовка, городской округ «Саранск») Источник: составлено авторами на основе источника «Яндекс Карты»

К дешифровочным признакам процессов овражной эрозии относят расположение оврагов и промоин на склонах, чаще южной и юго-западной экспозиции, плановую форму оврага с хорошо различимыми границами, линейный и дендровитообразный рисунок изображения с четко выраженной бровкой и тальвегом, цвет и тон изображения, чаще от светло-серого до почти белого. На круто-покатых распаханных склонах развиты процессы фронтального плоскостного смыва почв. Такие почвы распознаются по обнаженным (незадернованным) участкам и наличию полос или пятен со светлым или белесым оттенком (рис. 3).

Рис. 3. Участки плоскостного смыва почв на склоне южной экспозиции в районе с. Напольная Тавла городского округа «Саранск» Источник: составлено авторами на основе источника «Яндекс Карты»

Лощины и балки с травянистой растительностью, кустарниками и мелколесьем в большинстве случаев располагаются на склонах, имеют хорошо выраженное дно и более крутые склоны, выделяются более темным цветом и тоном, имеют вытянутую форму.

На развитие карста оказывают влияние следующие факторы: климат и отсутствие многолетней мерзлоты, наличие мощной толщи карстующихся горных пород, циркуляция подземных вод, плоский рельеф, лесная растительность способствует повышению «агрессивности» атмосферных осадков, антропогенный фактор.

К дешифровочным признакам развития карстовых процессов относят прежде всего рисунок фотоизображения (темные западины различной формы и размера), карстовые поля со специфической формой «гусиная кожа». Памятник природы регионального значения «Озеро Ендовище» образовался в результате заполнения грунтовыми водами воронки карстового генезиса (рис. 4).

Рис. 4. Озеро Ендовище – озеро карстового происхождения Источник: составлено авторами на основе источника «Яндекс Карты»

Факторы развития процессов заболачивания: климат, замкнутые формы рельефа на плоской поверхности, слабая дренированность вследствие распространения глинистых и тяжелосуглинистых грунтов, длительное стояние речных вод во время половодья, поверхностный и подземных сток в понижения рельефа, отсутствие неотектонических поднятий, хозяйственная деятельность человека. Наиболее благоприятные условия для заболачивания создаются в пойменных ландшафтах средних рек Мордовии.

Так, в пойме Алатыря, на левом низком берегу реки располагается торфяное болото низинного типа Сабаевское. Оно занимает кв. 53 (выдел 2, 3, 4, 6, 8, 12, 20) Сабаевского лесничества Большеберезниковского территориального лесничества Большеберезниковского муниципального района РМ (рис. 5). Его площадь составляет 53 га.

Рис. 5. Торфяное болото Сабаевское в пойме р. Сура
Источник: составлено авторами на основе источника «Яндекс Карты»

Для определения типа болота по космофотоснимку используют различные дешифровочные признаки, которые включают в себя спектральные, текстурные и пространственные характеристики, отражающие особенности растительности, водного режима и рельефа. В инфракрасной области спектра определяются растения, характерные для болот (например, мхи, тростники, осоки). Они обычно отражают больше инфракрасного света, чем обычные наземные растения. Это позволяет выделить болотистые участки на космофотоснимках в диапазоне ближнего и среднего сезонного инфракрасного излучения. Торфяники (особенно верховые болота) имеют характерное отражение в инфракрасном спектре, с темными участками в видимом диапазоне и яркими в инфракрасном. Низинные болота могут отражать свет в обоих диапазонах с разной интенсивностью. Заболоченная местность в видимом спектре (особенно на снимках в красном и зеленом диапазонах) будет выглядеть как темные пятна из-за насыщенной влаги, особенно в период замедленного роста растений.

В ходе исследования выявлена тесная взаимосвязь опасных геодинамических экзогенных процессов с особенностями морфологической структуры ландшафтов. Существующие взаимосвязи между физиономичными и деципиентными геокомпонентами позволили использовать первые в качестве ландшафтных индикаторов в определении геодинамических экзогенных процессов.

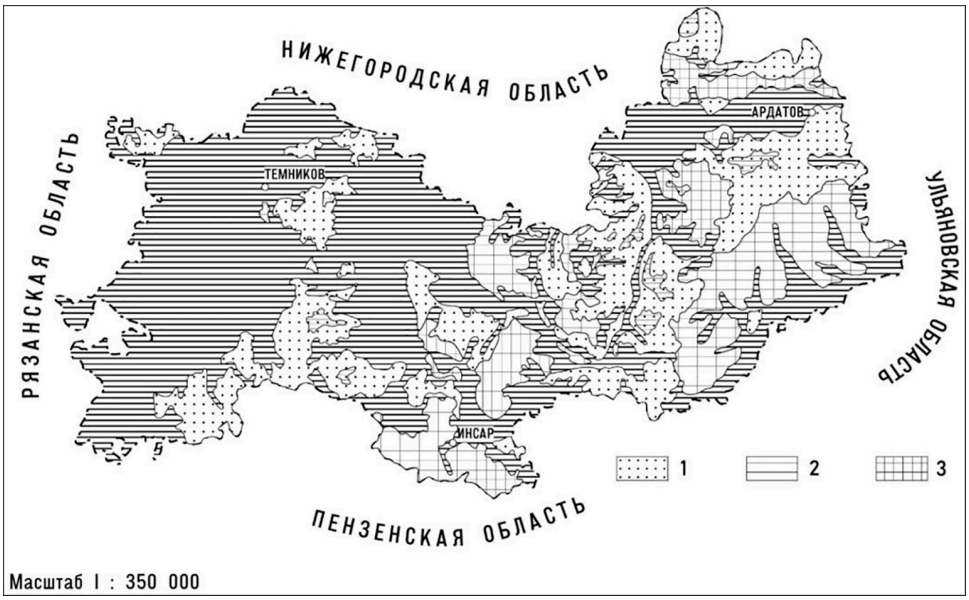


Рис. 6. Карта зонирования территории Мордовии по степени опасных геодинамических экзогенных процессов
Источник: составлено авторами на основе источников [12; 17]
Условные обозначения: степень поражения территории геодинамическими экзогенными процессами РМ: 1 – низкая, 2 – средняя, 3 – высокая

На основе дешифрирования космофотоснимков открытого доступа, материалов Государственного доклада о состоянии и об охране окружающей среды в Республике Мордовия в 2022 году [17], собственных полевых исследований и оценки устойчивости литогенной основы ландшафтов [12] была составлена карта зонирования территории Мордовии по степени поражения опасными геодинамическими экзогенными процессами.

Территория РМ хорошо дифференцирована по степени проявления активности опасных геодинамических экзогенных процессов (рис. 6). Выделено три степени: сильная (с поражением более 25% территории), средняя (поражение от 5 до 25% территории) и слабая (процессами поражено менее 5% территории). Около 60% территории республики составляют районы со средней и слабой интенсивностью проявления процессов.

Заключение

С позиции комплексного (ландшафтно-экологического) подхода разработаны методические подходы к исследованию развития опасных геодинамических экзогенных процессов с использованием метода ландшафтной индикации. В ходе исследования выявлены закономерности распространения и развития опасных геодинамических экзогенных процессов в лесостепных ландшафтах РМ.

Оценка факторов, способствующих развитию в РМ опасных геодинамических экзогенных процессов, показала их тесную связь с ландшафтами и их геокомпонентами. Для ландшафтов ВЛР характерны суффозия, заболачивание, карст. В ландшафтах ВМР распространены эрозионные и оползневые процессы. В ландшафтах ЭДР преобладают эрозионные, карстово-суффозионные, оползневые процессы. В долинных ландшафтах больше всего развиты заболачивание, подтопление, затопление, суффозия, эоловые процессы. Составлена карта зонирования территории Мордовии по степени опасных геодинамических экзогенных процессов. В регионе выделены участки трех степеней поражения территории опасными геодинамическими экзогенными процессами.

Применение методов ландшафтной индикации позволяет оперативно с минимальными экономическими затратами проводить на значительных по территории площадях мониторинг опасных геодинамических экзогенных процессов. Выявленные дешифровочные признаки могут быть использованы в других ландшафтах-аналогах для проведения литомониторинга на локальном и региональном уровне.

Результаты исследования позволяют оптимизировать мониторинг опасных геодинамических экзогенных процессов на локальном и региональном уровне и могут быть использованы в работе Министерства лесного, охотничьего хозяйства и природопользования РМ при разработке стратегии регионального природопользования.

Список литературы

1. Анаев М.А. Геоэкологический мониторинг склоновых процессов на территории Кабардино-Балкарской Республики: автореф. … канд. геогр. наук. Грозный: ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет им. Академика М.Д. Миллионщикова», 2024. 24 с. URL: https://www.dissercat.com/content/geoekologicheskii-monitoring-sklonovykh-protsessov-na-territorii-kabardino-balkarskoi-respub (дата обращения: 05.07.2025).

2. Ковязин И.Г. Информационная инженерно-геологическая модель городских территорий для строительного освоения (на примере г. Ханты-Мансийска): автореф. … канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», 2021. 23 с. URL: https://www.dissercat.com/content/informatsionnaya-inzhenerno-geologicheskaya-model-gorodskikh-territorii-dlya-stroitelnogo (дата обращения: 05.07.2025).

3. Лаврова Н.В., Кадебская О.И., Богомаз М.В. Результаты мониторинговых исследований опасных геологических и техногенных процессов // Вестник Пермского научного центра УрО РАН. 2018. № 2. С. 6–9. DOI: 10.7242/1998-2097/2018.2.1.

4. Трофимов В.Т., Королев В.А., Харькина М.А. Экологические функции как фундаментальные интегральные характеристики особенностей абиотических сред экосистем – литосферы, педосферы, атмосферы и гидросферы // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2024. № 2. С. 119–128. DOI: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-2-119-128.

5. Кустов М.В., Тесленок С.А.. Батин Д.А. Применение материалов аэрофотосъемки для изучения рельефа агроландшафтов (на примере территории городского округа Саранск Республики Мордовия) // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Серия «Естественные и точные науки». 2022. Т. 16. № 1. С. 76–85. DOI: 10.31161/1995-0675-2022-16-1-76-85.

6. Викторов А.С., Капралова В.Н., Орлов Т.В. Анализ развития экзогенных геологических процессов на основе моделей математической морфологии ландшафта // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2023. № 6. С. 16–25. DOI: 10.31857/S0869780923060085.

7. Глейзер И.В., Григорьев И.И, Казаков А.Г., Егоров И.Е. Массовое смещение обломочного материала в зоне осушки Воткинского водохранилища (р. Кама) // Геоморфология и палеогеография. 2024. Т. 55. № 2. С. 126–137. DOI: 10.31857/S2949178924020067.

8. Егоров И.Е. Экзогенные геоморфологические процессы и методы их изучения: монография. Ижевск: Издательство Удмурстского университета, 2017. 383 с. ISBN 978-5-4312-0458-6.

9. ГОСТ Р 22.1.06–99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. Общие требования (принят постановлением Госстандарта РФ от 24 мая 1999 г. № 177). Москва: Госстандарт, 1999. 14 с. URL: https://53.mchs.gov.ru/

uploads/resource/2022-09-13/gost_1663080146668221172.pdf (дата обращения: 07.07.2025).

10. Масляев В.Н., Маскайкин В.Н., Рычкова О.В., Амирова Д.А., Евсеев А.Д. Геоинформационный анализ рельефа для целей сельскохозяйственного землепользования и землеустройства // Успехи современного естествознания. 2024. № 8. С. 12–19. DOI: 10.17513/use.38298.

11. Зарубин О.А., Рычкова О.В., Агеева А.Р. Функциональное геоэкологическое зонирование метагеосистем региона (на примере Республики Мордовия) // Успехи современного естествознания. 2023. № 9. С. 28–34. DOI: 10.17513/use.38099.

12. Масляев В.Н., Маскайкин В.Н. Интенсивность современных экзогенных геоморфологических процессов как показатель экологической устойчивости литогенной основы ландшафтов Мордовии // Вестник Мордовского университета. 2000. № 1–2. С. 103–106. URL: http://cyberleninka.ru/article/n/intensivnost-sovremennyh-ekzogennyh-geomorfologicheskih-protsessov-kak-pokazatel-ekologicheskoy-ustoychivosti-litogennoy-osnovy-1. (дата обращения: 05.07.2025).

13. Масляев В.Н., Курочкин Д.В., Байчурин М.Р., Шабайкина В.А. Трансформация земель сельскохозяйственного назначения в районах интенсивного земледелия // Московский экономический журнал. 2024. № 2. С. 841–855. DOI: 10.55186/2413046X_2024_9_2_118.

14. Муштайкин А.П., Тесленок С.А., Маскайкин В.Н. Применение ГИС-технологий для моделирования зон затопления при недостатке или отсутствии гидрологической информации // Современные проблемы территориального развития. 2019. № 4. URL: https://elibrary.ru/wdmqab (дата обращения: 13.07.2025).

15 Рунков С.И., Маметьева Д.А. Инженерно-географическая оценка влияния грунтов на хозяйственную деятельность на территории Республики Мордовия // Научное обозрение. Международный научно-практический журнал. 2021. № 6. URL: https://elibrary.ru/egprjy (дата обращения: 13.05.2025).

16. Ямашкин А.А. Ямашкин С.А., Зарубин О.А., Мучкаева Н.С., Юнкман Е.С. Пространственно-временное прогнозирование оползневых процессов на основе геосистемного подхода // Успехи современного естествознания. 2020. № 6. С. 129–137. DOI: 10.17513/use.37422.

17. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Республике Мордовия в 2022 году / Министерство лесного, охотничьего хозяйства и природопользования Республики Мордовия; редкол.: А.Р. Галиуллин, И.В. Новиков, А.М. Сапунов, Ю.В. Анощенкова, С.А. Мещеряков, С.П. Суягин, Е.А. Чешуин, А.С. Токарев, Н.А. Васин, Н.Н. Кудашкина, Е.А. Яушев, А.А. Китаев, А.В. Кабаева, Е.В. Уланова, А.А. Колядина, О.С. Носова, С.В. Дергунова. Саранск, 2023. 286 с. URL: https://store.e-mordovia.ru/e-mordovia/iblock/1ce/1ce491647ef40f36ed01ab644f967097/GOSUDARSTVENNYY_DOKLAD_2022.pdf (дата обращения: 13.07.2025).

18. Черятова Ю.С., Джафарова А.Ф., Гресько А.И. Ландшафтная индикация в решении задач природопользования // Природообустройство. 2024. № 2. С. 111–116. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-2-111-116.

УДК 911.3:330.34
DOI 10.17513/use.38427

ДУАЛЬНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА: ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ДИСБАЛАНСОВ

[1,2]Монгуш С.П.

[1]Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: fqkey@mail.ru;
[2]Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО, Кызыл

В современных условиях политики импортозамещения модель дуальной экономики приобретает особую актуальность, так как предполагает опору на внутренние ресурсы, что особенно важно в условиях санкционного давления. Цель исследования – анализ дуальной экономики Республики Тыва, оценка ее зависимости от федеральных трансфертов и традиционного сектора, а также разработка мер по снижению структурных диспропорций. В работе использованы данные Росстата и региональных органов власти за 2016–2024 гг., методы сравнительного и структурного анализа. Результаты исследования показали, что экономика Тывы характеризуется глубокой дуальностью: современный сектор (добывающая промышленность, бюджетная сфера) соседствует с традиционным укладом (натуральное хозяйство, неформальная занятость). Выявлены значительные диспропорции в доходах, уровне занятости и экономическом развитии между городскими и сельскими территориями. Республика демонстрирует высокую зависимость от федеральных трансфертов при слабой диверсификации экономики, что ограничивает возможности устойчивого роста. Проведенный анализ позволил определить ключевые направления снижения структурных дисбалансов, включая развитие перерабатывающих кооперативов, поддержку местных форм занятости и адаптацию фискальной политики с учетом специфики региона. Важным аспектом является сохранение традиционного уклада при его постепенной интеграции в современную экономическую систему.

Ключевые слова: Республика Тыва, дуальная экономика, структурные дисбалансы, неформальная занятость, традиционное хозяйство

Работа выполнена по госзаданию: АААА-А21-121012190019-9 «Дифференциация и закономерности эколого-социально-экономического пространства сибирского макрорегиона с позицией восточного вектора развития в условиях глобальной нестабильности».

DUAL ECONOMIC MODEL OF THE REPUBLIC OF TYVA: ASSESSMENT OF STRUCTURAL IMBALANCES

[1,2]Mongush S.P.

[1]V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: fqkey@mail.ru;
[2]Tyvan Institute of Integrated Development of Natural Resources SB RAS, Kyzyl

In modern conditions of import substitution policy, the dual economy model is becoming particularly relevant, as it involves reliance on domestic resources, which is especially important in the context of sanctions pressure. The purpose of the study is to analyze the dual economy of the Republic of Tyva, assess its dependence on federal transfers and the traditional sector, and develop measures to reduce structural imbalances. The work uses data from Rosstat and regional authorities for 2016-2024, methods of comparative and structural analysis. The results of the study showed that the economy of Tyva is characterized by deep duality: the modern sector (extractive industry, public sector) is adjacent to the traditional way of life (subsistence farming, informal employment). Significant disparities in income, employment, and economic development between urban and rural areas have been identified. The Republic demonstrates high dependence on federal transfers with weak economic diversification, which limits the possibilities of sustainable growth. The analysis made it possible to identify key areas for reducing structural imbalances, including the development of processing cooperatives, support for local forms of employment, and adaptation of fiscal policy to the specifics of the region. An important aspect is the preservation of the traditional way of life with its gradual integration into the modern economic system.

Keywords: Republic of Tyva, dual economy, structural imbalances, informal employment, traditional economy

The work was completed according to the state assignment: AAAA-A21-121012190019-9 "Differentiation and patterns of the ecological-social-economic space of the Siberian macroregion with the position of the eastern vector of development in the context of global instability".

Введение

В современных условиях, когда Россия проводит политику импортозамещения, модель дуальной экономики становится особенно актуальной, поскольку она делает упор на использование внутренних ресурсов. Теория дуальной экономики подчеркивает, что устойчивое развитие возможно только при эффективном использовании внутренних резервов, что особенно важно в условиях санкционного давления [1-3]. Рассмотрение ключевых концепций дуальной экономики в работах экономистов позволяет лучше понять механизмы перераспределения ресурсов, что особенно актуально для современной России (табл. 1).

Таблица 1

Эволюция теории дуальной экономики: основные авторы и их вклад

Автор	Вклад в теорию дуальной экономики
У. Льюис	Заложил основы концепции дуальной экономики. Описал динамическое перемещение ресурсов из традиционного (аграрного) сектора в современный (промышленный). В аграрном секторе заработная плата определяется средним продуктом труда, в промышленном – предельным продуктом. Модель обосновывает использование трудоемких технологий
Дж. Фей и Г. Ранис	Рассмотрели дуализм рынков (товаров, труда, финансов). Сбережения аграрного сектора могут инвестироваться в промышленность. Межсекторный обмен – ключевое условие развития. Сближение условий труда и зарплат сокращает дуализм
Д. Йоргенсон	Исследовал влияние накопления капитала и технологического прогресса. Технический прогресс связан с инвестициями в обновление капитала
У. Леле и Дж. Меллор	Подчеркивали важность развития сельского хозяйства до или параллельно с индустриализацией для обеспечения внутренними ресурсами
Дж. Харрис и М. Тодаро	Объяснили миграцию из села в город, несмотря на городскую безработицу, через различия в ожидаемых доходах
Х. Озава	Расширил модель Льюиса, выделив сектора инвестиционных и потребительских товаров. Ввел норму сбережений как эндогенную переменную, что повлияло на исследования экономического роста

Источник: составлено на основе [4-8].

Таблица 2

Основные показатели экономического благосостояния населения республик Алтай, Тыва и Хакасия в 2016-2023 гг.

Регион	ВРП на душу населения, тыс. руб.							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Республика Алтай	225,3	229,4	256,2	270,3	297,5	353,2	425,1	514,0
Республика Тыва	181,9	201,9	226,4	241,5	247,8	273,2	320,4	363,2
Республика Хакасия	385,1	403,7	448,7	475,6	495,5	589,7	650,6	715,3
	Фактическое конечное потребление домашних хозяйств на душу населения, тыс. руб.							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Республика Алтай	210,1	220,5	246,5	265,2	290,4	332,8	404,1	452,6
Республика Тыва	153,5	160,3	174,3	196,3	210,9	231,1	283,4	337,6
Республика Хакасия	244,2	255,6	274,5	285,6	305,4	341,8	377,8	437,4

Источник: Статистический ежегодник Республики Тыва 2024: Стат. сб./Красноярскстат. Красноярск, 2024. 339 с.

В экономической теории дуализм отражает устойчивое сосуществование двух разнородных экономических систем в рамках единого хозяйственного пространства [9-11], проявляющееся в резких контрастах технологического развития, форм организации занятости и уровня производительности с соответствующим разрывом в доходах. Республика демонстрирует уникальную дуальную экономику, где современные рыночные институты в городах соседствуют с традиционным сельским укладом, создавая резкий разрыв в доходах между городским и сельским населением. Федеральные трансферты поддерживают современный сектор [12], в то время как традиционная экономика сохраняется благодаря многовековым практикам выживания, что приводит к парадоксу – официальный рост показателей не отражает реального положения значительной части населения, живущей в бедности за счет натурального хозяйства и взаимопомощи [13; 14].

Цель исследования – анализ дуальной экономики Тывы, оценка зависимости от федеральных трансфертов и традиционного сектора, а также разработка мер по снижению структурных диспропорций.

Материал и методы исследования

Исследование основано на анализе официальных статистических данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат) и региональных органов власти за 2016-2024 гг.

Использованы методы сравнительного анализа и структурный анализ валового регионального продукта.

Результаты исследования и их обсуждение

Для комплексной оценки экономического развития регионов и выявления межрегиональных диспропорций целесообразно начать с анализа динамики ВРП на душу населения, который служит ключевым индикатором уровня экономического благополучия территорий (табл. 2).

Таблица 3

Показатели комплексной оценки экономического развития за 2023 г.

Показатели	Тыва
1. Показатели доходов и потребления	
Среднедушевые денежные доходы населения, руб.	28 934
Величина прожиточного минимума, руб.	14 519
Доля населения с доходами ниже прожиточного минимума, %	23,5
Потребительские расходы на душу населения, руб.	22 219
Коэффициент фондов (соотношение доходов 10% самых богатых и 10% самых бедных), раз	13
2. Индикаторы рынка труда	
Уровень безработицы, %	6,6
Уровень экономической активности населения, %	54
Соотношение формальной и неформальной занятости:	
II квартал 2022 г., доля неформальной занятости, %	34,7
среднегодовая численность занятых, чел. (2022 г.)	111 200
на 100 формально занятых приходится ~53 неформально занятых	53
Индекс потребительских цен (ИПЦ), %	109,9
Среднемесячная номинальная заработная плата, руб.	57 793
Среднемесячная реальная заработная плата, руб.	52 586,9
3. Производственные и инвестиционные показатели	
Объем промышленного производства на душу населения, руб.	81 004,4
Инвестиции в основной капитал на душу населения, руб.	75 191
Доля обрабатывающих производств в ВРП, %	0,7
Производительность труда по основным отраслям, тыс. руб./чел.:	
добыча полезных ископаемых	8 819,0
обрабатывающие производства	544,1
сельское хозяйство	1 164,9
4. Социально-демографические параметры	
Ожидаемая продолжительность жизни, число лет	66,6
Миграционный прирост/убыль населения, чел.	-2 492
Уровень урбанизации, %	55,3
5. Специфические для дуальной экономики показатели	
Доля натурального хозяйства в потреблении домохозяйств, %	80% (ЛПХ*)
Уровень монетизации сельской экономики	20%
Доступ к финансовым услугам в сельской местности (Россельхозбанк – 13 ед. банкоматов, Сбербанк – 7 ед. банкоматов)	20 ед. на 150 770 чел. (1 банкомат на 7539 чел.)

Примечание: * – личные подсобные хозяйства.

Источник: Регионы России. Социально-экономические показатели. 2024: Стат. сб. / Росстат. М., 2024. 1081 с.

Хакасия лидирует по ВРП (715,3 тыс. руб. в 2023 г.), почти вдвое опережая Тыву (363,2 тыс. руб.), но разрыв в потреблении меньше (437,4 тыс. руб. против 337,6 тыс. руб.), что указывает на более равномерное распределение доходов в Хакасии и высокую зависимость Тывы от федеральных трансфертов. В Республике Алтай наблюдается сбалансированный рост ВРП (514,0 тыс. руб.) и потребления (452,6 тыс. руб.), что может свидетельствовать об увеличении инвестиционной активности. Тыва особенно пострадала в 2020 г., показав минимальный прирост ВРП при стабильном росте потребления, что подчеркивает ее уязвимость к внешним шокам и зависимость от бюджетной поддержки. Высокая зависимость Тывы от трансфертов, где ВРП почти полностью расходуется на текущее потребление, ограничивает возможности развития, создавая риски долгосрочной «ловушки дотационности» без диверсификации экономики. Помимо ВРП на душу населения, для комплексной оценки экономического развития Тывы проанализировали взаимосвязанные показатели, сгруппированные следующим образом (табл. 3).

Республика Тыва демонстрирует глубокую социально-экономическую дифференциацию: низкие доходы (28 934 руб.) и высокая бедность (23,5%) сочетаются с резким расслоением (коэффициент фондов 13 раз) и значительной неформальной занятостью (34,7%), особенно в сельской местности, где преобладает натуральное хозяйство при ограниченной монетизации экономики (20%). Зависимость от трансфертов усугубляется слабостью обрабатывающего сектора (0,7% ВРП), низкими инвестициями (75 191 руб./чел.) и демографическими рисками (миграционная убыль, продолжительность жизни 66,6 года, при среднероссийской – 73,41 года), при этом формально низкая безработица (6,6%) скрывает массовый отток населения из официальной экономики, особенно в сельских районах с занятостью всего 44,6%. Значительный разрыв между городскими (57,8%) и сельскими (49,2%) показателями участия в рабочей силе отражает структурные проблемы рынка труда – нехватку вакансий, несоответствие квалификации и низкие зарплаты, выталкивающие население в неформальный сектор или за пределы региона. Эта ситуация создает порочный круг: слабая экономика не генерирует достаточные рабочие места → сокращается налогооблагаемая база → ухудшаются условия на рынке труда, особенно в сельской местности, где отсутствуют альтернативы традиционным видам деятельности. Этот замкнутый круг наглядно иллюстрируется данными о возрастной дифференциации занятости в таблице 4, где особенно заметно снижение экономической активности среди молодежи и предпенсионного населения, усугубляющее структурные дисбалансы рынка труда.

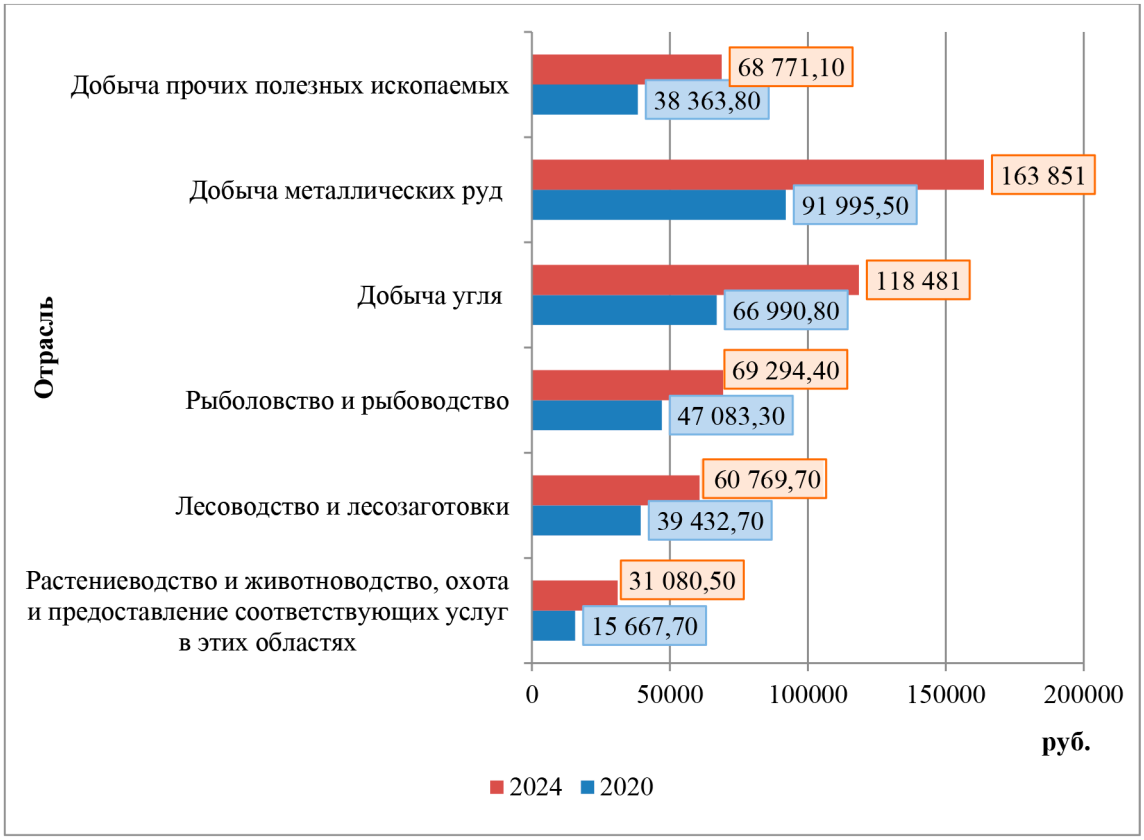
Анализ занятости в Тыве за 2023 г. выявляет ключевые диспропорции: наибольшая занятость наблюдается в группе 40–49 лет (74,5%), но даже здесь высока доля экономически неактивных, что указывает на скрытую безработицу, тогда как молодежь 15–19 лет (2,3% занятости) и группы 20–29 лет (48,9%) сталкиваются с трудностями трудоустройства из-за несоответствия квалификации и спроса на рынке труда.

Таблица 4

Занятость и экономическая активность населения Тывы по возрастным группам в 2023 г.

Возраст, лет	Распределение численности населения по возрастным группам, чел.	Уровень занятости населения по возрастным группам, %	Занятое население по возрастным группам, чел.	Неактивное население, чел.	Состав безработных по возрастным группам, %
15-19	27945	2,3	643	27302 (97,7%)	0,6
20-29	41504	48,9	20295	21209 (51,1%)	27,4
30-39	51738	69,6	36010	15728 (30,4%)	39,0
40-49	43507	74,5	32413	11094 (25,5%)	26,7
50-59	34953	59,1	20657	14296 (40,9%)	6,4
60-69	22721	18,5	4203	18518 (81,5%)	-
70 и старше	11288	5,4	610	10678 (94,6%)	-

Примечание: «-» – нет данных.



Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата в расчете на одного работника по региону Республика Тыва, руб.

В возрастной категории 30–39 лет (69,6% занятости) сосредоточено 39% безработных, что связано с сезонностью и нехваткой рабочих мест, а снижение занятости после 50 лет (59,1% в 50–59 лет, 18,5% в 60–69 лет) отражает ранний выход на пенсию и ограниченные возможности трудоустройства для старшего поколения. Общая структура безработицы (93,1% безработных – возраст 20–49 лет) свидетельствует о системных проблемах, включая нехватку качественных рабочих мест, низкие зарплаты и слабую поддержку малого бизнеса, особенно в сельской местности, где преобладает неформальная занятость. Низкий уровень участия в рабочей силе (54%) подтверждает, что почти половина трудоспособного населения исключена из официальной экономики, что требует мер по созданию новых рабочих мест, переобучению и развитию предпринимательства в несырьевых секторах.

Особенности дуальной экономики Республики Тыва. В Республике Тыва дуализм и дуальная экономика проявляются в уникальных формах, сочетающих традиционные уклады с современными промышленными секторами. Дуальность экономики Тывы проявляется в глубоком и устойчивом разделении на два разнородных сектора, каждый из которых функционирует по собственной логике, но при этом взаимосвязан с другим. В современном (формальном) секторе доминируют государственные учреждения, бюджетная сфера и ограниченное число промышленных предприятий (преимущественно горнодобывающие и энергетические), которые интегрированы в общероссийскую экономическую систему и зависят от федеральных трансфертов. Этот сектор обеспечивает относительно высокие зарплаты, но охватывает меньшую часть населения, сосредоточенного в городах, особенно в Кызыле (рисунок).

Анализ данных показывает, что среднемесячная номинальная заработная плата в Республике Тыва за 2020-2024 гг. выросла на 53,1% в среднем по всем отраслям, достигнув 67 541,2 руб., при этом наиболее значительный рост наблюдался в сельском хозяйстве (на 98,4% до 31 080,5 руб.), ко-

торое остается самым низкооплачиваемым сектором, тогда как добывающие отрасли демонстрируют как наибольшие абсолютные значения заработных плат (163 851 руб. в добыче металлических руд и 118 481 руб. в добыче угля), так и высокие темпы роста (178,1% и 176,9% соответственно), что подчеркивает сохраняющуюся сырьевую специализацию региона с выраженной дифференциацией доходов между отраслями. Анализ зарплат за 2023 г. выявляет резкие территориальные диспропорции: максимальные показатели в Тере-Хольском (89 216,7 руб.) и Тоджинском (84 196,8 руб.) кожуунах связаны с добывающей промышленностью, тогда как минимальные значения в Тес-Хемском (39 408 руб.) и Бай-Тайгинском (39 736,3 руб.) районах отражают преобладание низкодоходного сельского хозяйства, создавая разрыв до 2,3 раза между столицей (69 128,2 руб.) и отдаленными территориями.

Традиционный сектор в сельской местности, основанный на натуральном хозяйстве и бартере, остается вне официальной статистики, усугубляя неравенство между современными и традиционными формами экономической деятельности. Ключевая особенность этой дуальности – минимальное взаимопроникновение секторов: денежные потоки из бюджетной сферы и промышленности слабо стимулируют развитие сельских территорий, а традиционные хозяйственные практики почти не вовлечены в формальную экономику. Это приводит к парадоксальной ситуации, когда статистический рост ВРП (обеспечиваемый госсектором и добывающей промышленностью) не снижает высокий уровень бедности, так как значительная часть населения остается в «тени» или зависит от натурального производства. Дополнительную сложность создает географическая и инфраструктурная изолированность сельских районов, где слабая транспортная связность и отсутствие перерабатывающих предприятий ограничивают возможности коммерциализации традиционного хозяйства. В результате даже потенциально доходные отрасли, такие как мясное скотоводство или производство экопродукции, остаются малорентабельными из-за логистических издержек и отсутствия рыночных каналов сбыта. При этом социокультурные факторы усиливают дуальность: для многих жителей, особенно старшего поколения, натуральное хозяйство – не просто экономическая необходимость, но и часть идентичности, что осложняет внедрение стандартных рыночных механизмов. Молодежь, напротив, стремится в города или уезжает из республики, что ведет к деградации сельских территорий без компенсирующего роста производительности в городской экономике. Республика Тыва демонстрирует яркий дуализм экономики, где традиционное кочевое животноводство в отдаленных районах (например, Тере-Хольский кожуун) соседствует с современной горнодобывающей промышленностью (артель «Ойна»), создавая сложную экономическую среду с резкими контрастами в уровне развития и доступности инфраструктуры. Частичное перераспределение трудовых ресурсов между секторами (32,5% тувинцев среди работников артели) пока не реализует полный потенциал из-за недостатка системных образовательных программ и требует развития социальной ответственности бизнеса через экологические и инфраструктурные проекты для смягчения структурных диспропорций [15; 16]. Для полноценного преодоления дуализма в Тыве требуется комплексный подход, сочетающий инициативы бизнеса с государственной поддержкой, включая расширение программ профессионального образования и введение стимулов для предприятий, готовых инвестировать в подготовку местных кадров. Опыт артели «Ойна» показывает, что локальные модели дуальной экономики могут быть эффективными, когда бизнес берет на себя часть социальных функций, но для устойчивого развития необходимо создание системных условий на региональном уровне. При этом важно учитывать уникальные географические и культурные особенности республики [17], чтобы предлагаемые решения не только способствовали экономическому росту, но и сохраняли традиционный уклад жизни местного населения, находя баланс между модернизацией и сохранением идентичности.

Таким образом, в условиях дуальной экономики традиционные методы экономического роста (крупные инфраструктурные проекты, привлечение внешних инвестиций, развитие промышленного сектора, субсидирование бизнеса) демонстрируют низкую эффективность. Дуальная экономика Тывы – это не просто сосуществование двух укладов, а системный дисбаланс, при котором слабая интеграция между секторами тормозит общее развитие региона, усугубляет неравенство и требует нестандартных решений, сочетающих экономические меры с учетом социокультурного контекста.

В условиях, когда крупные инфраструктурные проекты и инвестиции в промышленность концентрируются преимущественно в Кызыле, сельские районы требуют принципиально иных механизмов поддержки, основанных на развитии местных форм кооперации и адаптации традиционных видов хозяйственной деятельности к современным условиям. Для обеспечения устойчивого развития Республики Тыва требуется комплекс мер, направленных на гармоничную интеграцию традиционного уклада в современную экономику. Ключевыми направлениями должны стать: создание перерабатывающих кооперативов для продукции животноводства с внедрением современных логистических решений; развитие этнотуризма и поддержка народных промыслов через специализированные маркетинговые программы; разработка гибких моделей занятости, позволяющих сочетать традиционную хозяйственную деятельность с участием в современных проектах. Критически важными являются создание цифровых платформ для дистанционной занятости и удаленной работы, что позволит интегрировать жителей удаленных районов в общероссийские и глобальные экономические процессы, а также развитие финансовой инфраструктуры (мобильный банкинг, микрофинансирование) для повышения уровня монетизации традиционного сектора и облегчения доступа к кредитным ресурсам для малого бизнеса и домохозяйств. Особое внимание следует уделить адаптации фискальной политики с учетом специфики натурального обмена и неформальной занятости, что позволит сохранить социальный капитал общин и предотвратить их дезинтеграцию. Такой сбалансированный подход, основанный на принципах взаимодополнения экономических укладов и уважения к социокультурным традициям, создаст условия для устойчивого роста региона при сохранении его уникальной идентичности.

Список литературы

1. Голубев А.В. Агропродовольственное импортозамещение через призму устойчивости сельского хозяйства // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2022. № 8. С. 2–8. DOI: 10.31442/0235-2494-2022-0-8-2-8.

2. Петриков А.В. Сельская локальная экономика: специфика и актуальные проблемы развития в России // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2022. № 10. С. 2–8. DOI: 10.31442/0235-2494-2022-0-10-2-8.

3. Шмыгин В.А., Шульц В.Л. Геополитические конструкты в структуре образа России // Вопросы безопасности. 2023. № 1. С. 10-18. DOI: 10.25136/2409-7543.2023.1.39486.

4. Хоу С. Роль и значение модели Льюиса на современном этапе развития экономики // Научный аспект. 2021. № 4. Т. 1. С. 13-15. EDN: NSHBMG.

5. Солодун Ю.В., Мясникова Е.Б. Модели дуалистической экономики: модель Дж. Фея и Г. Раниса // Вестник Тульского филиала Финуниверситета. 2018. № 1. С. 240-242. EDN: XYFGBN.

6. Гуща Н.В. Концепция дуальной экономики в процессе экономического развития // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 9-1 (40). С. 34-35. EDN: UWPFGV.

7. Гуща Н.В. Методологические принципы изучения дуальных экономик стран Востока // Экономика и предпринимательство. 2014. № 11-3 (52). С. 80-82. EDN: TFGFKT.

8. Мозиас П.М. Россия в сообществе стран БРИКС: выбор приоритетов // Социальные и гумантитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Серия 9: Востоковедение и Африканистика. 2023. № 2. С. 37-66. DOI: 10.31249/RVA/2023.02.02.

9. Чепиков М.Ю. Современные формы дуальной экономики в Республике Беларусь // материалы II Международной научной конференции «Тенденции экономического развития в XXI веке» (Минск. 28 февраля 2020 г.). Минск: Издательство: Белорусский государственный университет. 2020. С.117-118. EDN: QGCEZW.

10. Заборцева Т.И. Восточно-Сибирский макрорегион в XXI веке с позиций восточного вектора развития: вызовы и проблемы // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2024. № 2 (77). С. 111-118. DOI: 10.52897/2411-4588-2024-2-111-118.

11. Мирошниченко Т.А. Особенности формирования человеческого капитала сельских территорий в условиях цивилизационной и научно-технологической трансформаций // АПК: экономика, управление. 2025. № 3. С. 115-123. DOI: 10.33305/253-115.

12. Семенов С.Н., Ржевская М.Я. К вопросу о месте локальной экономики в теории управления опережающим устойчивым развитием сельских территорий // Никоновские чтения. 2022. № 27. С. 13–18. EDN: IWXLXK.

13. Теплов В.И., Тарасова Е.Е., Акинин Д.Г. Социально-ответственный бизнес организаций потребительской кооперации // Вестник Белгородского университета кооперации. 2023. № 6 (103). С. 253-263. DOI: 10.21295/2223-5639-2023-6-253-263.

14. Заборцева Т.И., Воробьев Н.В. Возможности развития социально-экономического пространства Сибирского макрорегиона в условиях глобальной нестабильности // География и природные ресурсы . 2021. Т. 42. № 4. С. 177–178. EDN: JNEAHX.

15. Монгуш С.П., Марьясова Е.П. Актуализация индивидуальных программ социально-экономического развития регионов Сибири // Азиатско-тихоокеанский регион: экономика, политика, право. 2023. Т. 25. № 4. С. 5-33. DOI: 10.24866/1813-3274/2023-4/15-33.

16. Монгуш С.П. Качественная составляющая индивидуальной программы социально-экономического развития региона, входящего в состав Енисейской Сибири // Вестник Института социологии. 2023. № 1. Т. 1. С. 155-165. DOI: 10.19181/vis.2023.14.1.10.

17. Mongush S.P. The issues of cooperation between siberian regions within the Yenisey Siberia comprehensive investment project framework // Regional Economics: Theory and Practice. 2021. Т. 19. № 6 (489). С. 1121-1138. DOI: 10.24891/re.19.6.1121.

УДК 504.7:911
DOI 10.17513/use.38428

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗОНИРОВАНИЕ ТАМАНСКОГО ЗАЛИВА ПО СТЕПЕНИ ТРАНСФОРМАЦИИ СООБЩЕСТВ МАКРОФИТОБЕНТОСА

[1, 2]Сушкова Е.Г., [3, 4]Афанасьев Д.Ф., [2]Беспалова Л.А.

[1]Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Ростов-на-Дону, e-mail: ms.tuberosum@mail.ru;
[2]ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону;
[3]ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва;
[4]ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону

Цель работы – геоэкологическое зонирование акватории Таманского залива по степени трансформации сообществ макрофитобентоса с 1970-х гг. по настоящее время. Актуальность исследований обусловлена необходимостью сохранения донных природных комплексов Таманского залива, акватория которого входит в состав государственного природного зоологического заказника регионального значения «Запорожско-Таманский». Одной из охранных мер служит геоэкологический мониторинг динамики донных природных комплексов. Ряд негативных тенденций современного периода привел к вытеснению многолетних представителей высших водных растений, таких как взморники (*Zostera marina* L., *Nanozostera noltei* (Hornemann) Tomlinson & Posluszny), рдесты *(Stuckenia filiformis* (Pers.) Börner.) и рупия *(Ruppia maritima* L.), красными водорослями *Antitamnion plumula* (J. Ellis) Thuret. Источниками научных данных послужили литературные материалы, а также результаты собственных экспедиционных работ, выполненных в акватории Таманского залива в период с 2020 по 2024 г. На основе анализа пространственно-временных физико-географических показателей территории Таманского залива построена карта геоэкологического районирования по степени трансформации растительного компонента. Установлено, что за период с 1980-х гг. по 2024 г. структура и распределение макрофитобентосных сообществ донных природных комплексов Таманского залива претерпели значительные изменения. Наибольшей трансформации подверглась центральная часть Таманского залива, где зафиксирована постепенная деградация и утрата площадей, ранее занятых фитоценозами высшей водной растительности (взморников) и замещение их моновидовым сообществом красной водоросли *Antitamnion plumula*.

Ключевые слова: фитоценоз, *Zostera marina*, *Nanozostera noltei*, геоэкологическая оценка, макрофитобентос, Таманский залив

GEOECOLOGICAL ZONING OF TAMAN BAY ACCORDING TO THE DEGREE OF TRANSFORMATION OF MACROPHYTOBENTHOS COMMUNITIES

[1, 2]Sushkova E.G., [3, 4]Afanasev D.F., [2]Bespalova L.A.

[1]Azov-Black Sea branch of "VNIRO" ("AZNIIRKH"), Rostov-on-Don, e-mail: ms.tuberosum@mail.ru;
[2]Southern Federal University, Rostov-on-Don;
[3]Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow;
[4]Don State Technical University, Rostov-on-Don

The purpose of the work is the geoecological zoning of the Taman Bay area according to the degree of transformation of macrophytobenthos communities from the 1970s to the present. The relevance of the research is due to the need to preserve the bottom natural complexes of the Taman Bay, the water area of which is part of the state natural zoological reserve of regional significance "Zaporizhsko-Tamansky". Geoecological monitoring of the dynamics of bottom-lying natural complexes is one of the protective measures. A number of negative trends in the modern period have led to the displacement of perennial representatives of higher aquatic plants such as seashores (*Zostera marina L., Nanozostera noltei* (Hornemann) Tomlinson & Posluszny), rhubarbs (*Stuckenia filiformis* (Pers.) Börner.) and rupiah (Ruppia maritima L.) by red algae *Antitamnion plumula* (J.Ellis) Thuret. The sources of scientific data were literary materials, as well as the results of our own expedition work carried out in the waters of the Taman Bay in the period from 2020 to 2024. Based on the analysis of spatial and temporal physical and geographical indicators of the Taman Bay territory, a map of geoecological zoning was constructed according to the degree of transformation of the plant component. It has been established that during the period from the 1980s to 2024, the structure and distribution of phytobenthos communities in the bottom natural complexes of the Taman Bay underwent significant changes. The central part of the Taman Bay underwent the greatest transformation, where gradual degradation and loss of areas previously occupied by phytocenoses of higher aquatic vegetation (seashores) and their replacement by a monospecific community of the red alga Antitamnion plumula were recorded. Insufficient scientific forecasting of the long-term consequences of anthropogenic activities has been revealed.

Keywords: phytocenosis, *Zostera marina, Nanozostera noltei*, geoecological assessment, macrophytobenthos, Taman Bay

Введение

Биотический компонент ландшафтных систем является важным индикатором, отражающим динамику экологического состояния региона. Устойчивость биогеоценотических структур и их способность к саморегуляции обусловлены особым статусом растительного компонента как самостоятельного функционального блока в системе биогеоценоза [1, 2].

В структуре донных фитоценозов Таманского залива традиционно доминируют сообщества высших водных растений. Наибольшее значение в формировании этих биоценозов имеют представители семейства Zosteraceae, в частности *Zostera marina* (Linnaeus, 1753) и *Nanozostera noltei* (Hornemann, 1832), которые образуют обширные подводные луга, играющие ключевую роль в функционировании всей экосистемы [3, 4]. Первый вид, будучи многолетним морским растением, в Таманском заливе преимущественно распространен на глубинах от 2 до 6 м, тогда как второй, характеризующийся большей устойчивостью к колебаниям солености, чаще встречается в мелководной зоне. Наряду с зостерой в состав донных ассоциаций входят представители родов Potamogeton (рдесты) и Ruppia (рупия), на глубинах 1,5–2,5 м [5, 6]. Ввиду высокой природоохранной ценности в 1967 г. создан государственный природный зоологический заказник регионального значения «Запорожско-Таманский», включающий акваторию Таманского залива [7].

Ранние исследования водной растительности Азовского моря, включая первые научные труды XIX в., например работы А. Остроумова (1896) [8], а также более поздние экспедиционные исследования макрофитобентоса Таманского залива К.М. Петрова в 1960-х гг. [9]; В.В. Громов и сотрудников АзНИИРХа в 1980–1990-х гг. [10]; работы ЮНЦ РАН, выполненные в 2005 г., но опубликованные в 2016 г. [11], носили преимущественно описательный характер. Эти работы давали представление о структуре и продуктивности макрофитобентосных сообществ в конкретные периоды, однако не рассматривали их временную динамику.

Кроме того, в ранние периоды исследования проводились без применения геоэкологического подхода, который предполагает комплексный анализ взаимодействия биологических сообществ с абиотическими факторами среды, включая гидрологические, геоморфологические и антропогенные процессы. Лишь в последнее время в работах сотрудников Института океанологии РАН И.В. Любимова, Г.А. Колючкиной, У.В. Симаковой, А.Б. Басина [12] наметился переход к более системному изучению фитобентоса, учитывающему его пространственно-временную изменчивость и связь с условиями среды.

Цель исследования – геоэкологическое зонирование акватории Таманского залива по степени трансформации сообществ макрофитобентоса с 1970-х гг. по настоящее время.

Материалы и методы исследования

Анализ пространственно-временной динамики макрофитобентоса выполнен на основе литературных данных (В.В. Громов с соавт., 1978–2000 гг. [13]; С.В. Бирюкова с соавт., 2005 г. [11]), а также результатов собственных исследований 2020–2024 гг. [5].

Исследования в Таманском и Динском заливах (1978–2024 гг.) проводились стандартными методами подводных ландшафтных и гидробиологических исследований с использованием легководолазной техники [5]. В 2020–2024 гг. позиционирование станций осуществлялось GPS-приемником с проведением сплошного визуального наблюдения вдоль трансект.

На каждой станции закладывали четыре учетные площадки (10×10 м), где определяли общее проективное покрытие, видовой состав и структуру фитоценозов. Отбор проб макрофитобентоса выполняли рамками 0,25 м² с фиксацией высоты полога. Лабораторный анализ включал определение биомассы и видового состава. Фитоценозы выделяли по доминантной классификации [5].

Тип донных отложений определяли по гранулометрической классификации [14]. Ландшафтное картирование проводили с использованием QGIS 3.32.3 и навигационных карт, с географической привязкой через kosmosnimki.ru. Литературные картографические материалы анализировали на той же платформе.

На основе данных за 1978–2000, 2005 и 2020–2024 гг. выявлены пространственно-структурные изменения донных растительных сообществ и составлена карта геоэкологического состояния макрофитобентоса Таманского залива в современный период (рис. 1). В качестве основных критериев в анализ была принята биомасса основных сообществ, а также сохранение доминирующего вида в ассоциациях.

Результаты исследования и их обсуждение

Геоэкологическая оценка проводилась по таким показателям, как сохранение доминирующего вида в ассоциациях, а также биомасса доминирующих сообществ.

Степень трансформации фитоценозов по критериям сохранения доминирующих и субдоминирующих видов в фитоценозах ранжирована следующим образом: низкая: сохранение доминирующих и субдоминирующих видов; средняя: сохранение доминирующего вида, но сокращение количества субдоминатных; высокая: полная смена как доминирующих, так и субдоминирующих видов (табл. 1).

В течение анализируемого периода (1978–2024 гг.) отмечалось сокращение биомассы ассоциаций во всех диапазонах глубин на участках с глубинами 0,2–2,0 м на 207,6 г/м^2, на участках с глубинами 2,0–3,5 – на 2152,2 г/м^2, на участках с глубинами 3,5–6,0 –на 921,8 г/м^2.

Интенсивность сокращения биомассы ассоциаций ранжирована по следующим критериям: от 0 до 33% – низкая, от 34 до 66% – средняя, от 67 до 100% – высокая (табл. 2).

Геоэкологическая оценка Таманского залива выполнялась с использованием ранжирования по интенсивности проявления изменений показателей, принятых в анализ (табл. 3).

По результатам интегральной геоэкологической оценки макрофитобентосных сообществ Таманского залива, выполненной по комплексу показателей (сохранение доминирующего вида в ассоциациях, биомасса доминирующих ассоциаций), были выявлены три зоны с высокой (5 и более баллов), средней (3–4 балла) и низкой (2 балла) степенью проявления трансформационных процессов (рис. 1).

Таблица 1

Основные доминирующие виды в акватории Таманского залива в 1978–2024 гг.

Глубины	Доминирующие виды / субдоминанты			Степень трансформации в 2020–2024 гг.
	1978–2000	2005	2020–2024	
0,2–2,0	*Nanozostera noltei, Chara baltica, Phragmites australis Cladofora sp.*	*Nanozostera noltei, Chara baltica, Phragmites australis Cladofora sp.*	*Nanozostera noltei, Chara baltica, Phragmites australis Cladofora sp.*	низкая
2,0–3,5	*Zostera marina*	*Zostera marina*	*Zostera marina*	низкая
3,5–6,0	*Zostera marina, Chara baltica,*	*Zostera marina, Chara baltica, Chondria capillaris*	*Antitamnion plumula*	высокая

Источник: составлено авторами по [4, 10, 11].

Таблица 2

Биомассы основных ассоциаций Таманского залива в 1978–2024 гг.

Доминирующие фитоценозы	Глубины	1978–2000	2005	2020–2024	Изменение (1978–2024) (г/м^2)	Интенсивность
Nanozostera noltei, Chara baltica, Phragmites australis Cladofora sp	0,2–2,0	1194,3	-*	986,7	207,6 (17,4%)	низкая
Zostera marina	2,0–3,5	2877,5		725,3	2152,2 (74,8%)	высокая
Zostera marina, Chara baltica,	3,5–6,0	1600		678,2	921,8 (57,6%)	средняя
*- данные отсутствуют						

Источник: составлено авторами по [4, 10, 11].

Таблица 3

Интегральная геоэкологическая оценка макрофитобентосных сообществ Таманского залива в 1978–2024 гг.

Доминирующие фитоценозы	Глубины, м	Критерий	Интенсивность /балл 1978–2024	Сумма баллов	Отнесение к зоне степени трансформации
Nanozostera noltei, Chara baltica, Phragmites australis Cladofora sp	0,2–2,0	видовой состав	низкая/1	2	низкая
		биомасса	низкая/1		
Zostera marina	2,0–3,5	видовой состав	низкая/1	4	средняя
		биомасса	высокая/3		
Zostera marina, Chara baltica (1978–2005) */Antitamnion plumula* (2020–2024)	3,5–6,0	видовой состав	высокая/3	5	высокая
		биомасса	средняя/2		

Источник: составлено авторами.

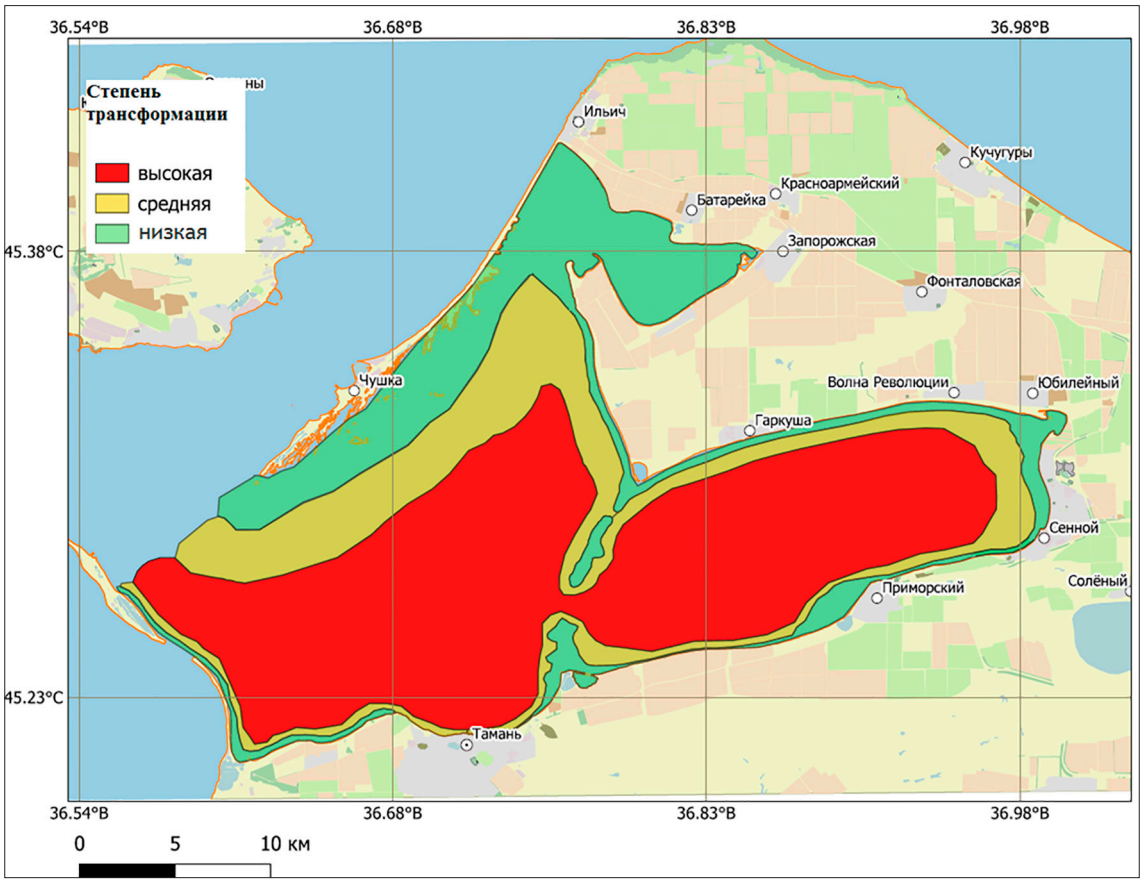


Рис. 1. Геоэкологическое зонирование Таманского залива по степени трансформации макрофитобентосных сообществ Источник: составлено авторами

Исходя из многолетних данных по площадям распространения основных фитоценозов (табл. 4) определена доля каждой из выделенных зон трансформации в современный период.

На долю с высоким проявлением трансформационных процессов в современный период приходится 56% площади акватории, средним – 23%, низким – 21%, что показано на рис. 2.

Таблица 4

Площади распространения доминирующих фитоценозов
в акватории Таманского залива в 1978–2024 гг.

Доминирующие фитоценозы	Глубины	1978–2000	2005	2020–2024
Nanozostera noltei, Chara baltica, Phragmites australis Cladofora sp	0,2–2,0	4614,9 (14,17 %)	5124,4 (18,26 %)	6819,8 (21,02 %)
Zostera marina	2,0–3,5	14920,6 (45,82 %)	11346,6 (40,44)	7452,2 (22,97 %)
Zostera marina, Chara baltica (1978–2005)*/Antitamnion plumula* (2020–2024)	3,5–6,0	13033,4 (40,02 %)	11588,2 (41,30 %)	18165,9 (56,00 %)

Источник: составлено авторами по [4, 10, 11].

Рис. 2. Доля площади зон трансформации растительных сообществ в современный период
Источник: составлено авторами

Зона с низкой степенью трансформации. Исследуемый участок акватории расположен в диапазоне глубин от 0,2 до 2,0 м. В геоморфологическом отношении данная зона представляет собой мелководную отмель. Донные отложения представлены песчано-илистыми грунтами с повышенным содержанием ракушечного материала.

В фитоценозах доминируют *Nanozostera noltei* повсеместно, *Chara baltica* (в центральной части Динского залива и местами в виде отдельных участков по траверзу пос. Сенной), *Phragmites australis* (в виде узкой полосы в восточной части Динского залива и вдоль косы Чушка) и *Cladofora sp*. в прибрежных частях: городского пляжа пос. Сенной и в основании косы Чушка. В качестве субдоминантов выступают *Stuckenia filiformis, Polysiphonia brodiae, Chaetomorpha aerea, Cladophora albida, Cl. sericea, Ruppia maritima, Ulva prolifera* (O F Müller), *U. intestinalis* (L.).

Исследуемая зона демонстрирует высокую степень устойчивости. Согласно полученным данным, отмечено небольшое изменение границ отдельных сообществ внутри зоны в современный период по сравнению с базовым периодом (1978–2000 гг.), сокращение биомассы составило 17,4 % (табл. 1). Уменьшение биомассы и сдвиг границ распространения ассоциаций преимущественно обусловлены сокращением ареала тростниковых сообществ. Авторы полагают, что это связано с ростом солености в заливе. Согласно многолетним данным службы ЕСИМО, соленость в Таманском заливе в период с 1977 по 1991 г. составляла 14,2 ‰[1].

В 2008–2009 гг. – 14–17 ‰ [12], в современный период по данным собственных наблюдений 2020–2024 гг. – 16–20 ‰. При этом проведенные исследования подтверждают стабильность видового состава всех растительных ассоциаций этой зоны на протяжении всего анализируемого периода (табл. 2).

Зона с умеренной степенью трансформации. Исследуемая область охватывает глубины от 2,0 до 3,0 м. В геоморфологическом отношении данный участок представляет собой подводную слабонаклонную равнину с незначительными перепадами абсолютных отметок дна. Донные отложения представлены илисто-песчаными грунтами, что свидетельствует об умеренной гидродинамической активности и преобладании осадочных процессов в условиях мелководной шельфовой зоны.

[1] Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО). [Электронный ресурс]. URL: http://www.esimo.ru/atlas/spravochnik_azov (дата обращения: 17.08.2024).

В фитоценозах доминирует *Zostera marina*, в качестве субдоминантов выступают *Nanozostera noltei, Stuckenia filiformis, Polysiphonia brodiae, Ruppia maritima*.

На протяжении исследуемого временного интервала зарегистрировано существенное снижение биомассы фитоценоза *Zostera marina* (табл. 1). Значения биомассы уменьшились с 2877,5 г/м² в 1978–2000 гг. до 725,27 г/м² в 2020–2024 гг. (на 74,8% от исходного показателя).

Однако при выраженной негативной динамике биомассы таксономический состав доминантной ассоциации остался неизменным.

Зона с высокой степенью трансформации. Исследуемая область охватывает глубины от 2,5 до 6,0 м. В геоморфологическом отношении данный участок представляет собой подводную слабонаклонную равнину. Донные отложения представлены илистыми тонкодисперсными грунтами, что свидетельствует о низкой гидродинамической активности и преобладании осадочных процессов.

В современный период для данной зоны характерно формирование монодоминантного фитоценоза, представленного видом *Antitamnion plumula*.

На протяжении исследуемого периода наблюдается постепенное сокращение ареала доминирующего фитоценоза *Zostera marina* (табл. 1). Причем в 2005 г. отмечено появление в глубоководной западной части Таманского залива области с иным доминирующим видом (*Chondria capillaris* (Hudson) MJWynne.). В 2020–2024 гг. отмечается полная утрата фитоценоза *Zostera marina* и *Chara baltica* на глубинах 3,5–6,0 м, а также частичное вытеснение зостеровых ассоциаций с глубин 2,5–3,5 м.

Согласно проведенным исследованиям площадь зоны с высокой степенью трансформации в текущий период составляет 18 165,9 га.

Проведенное исследование свидетельствует о значительных структурных и пространственных изменениях макрофитобентосных сообществ Таманского залива, наблюдавшихся в период с 1980-х гг. по 2024 г. Анализ полученных данных показывает четкую зависимость степени трансформации сообществ от глубины их локализации. На мелководных участках с глубинами до 1,5 м отмечается высокая устойчивость фитоценозов, которые сохраняют как количественные показатели (биомассы, границы сообществ), так и качественные характеристики (видовой состав). В более глубоководных зонах (2,5–3,0 м) зарегистрировано существенное сокращение ареалов макрофитобентосных сообществ, хотя видовой состав доминантов остался практически неизменным. Наиболее выраженные трансформационные процессы зафиксированы в центральной части залива, где произошла полная смена доминирующего сообщества.

По мнению авторов, ключевым фактором произошедших изменений стало увеличение трофности и, как следствие, мутности вод в акватории Таманского залива, что вызвало трансформацию растительных сообществ, наиболее выраженную в глубоководных участках.

Развитие данных процессов обусловлено сочетанием глобальных и антропогенных факторов. К первым относятся климатические изменения, в частности рост среднегодовых температур, что подтверждается данными системы ЕСИМО. Ко вторым – антропогенное воздействие, связанное с отсыпкой Тузлинской дамбы, которая привела к изменению схемы циркуляции водных масс в Таманском заливе [15] и снижению его водообмена с Азовским и Черным морями.

Заключение

На протяжении долгого времени залив подвергался интенсивному хозяйственному освоению, включающему дноуглубительные работы, строительство гидротехнических сооружений (дамбы), рекреационную нагрузку и сельскохозяйственное использование прибрежных территорий.

Применение комплексного геоэкологического подхода к оценке растительных сообществ Таманского залива позволило установить закономерности пространственного распределения основных фитоценозов и оценить степень трансформации сообществ.

Выявленные негативные изменения могут быть обусловлены комплексом факторов, включая возможные гидрологические изменения, антропогенное воздействие и естественные сукцессионные процессы в экосистеме залива.

Полученные результаты подчеркивают необходимость дальнейшего мониторинга и изучения динамики донных растительных сообществ данного региона для разработки научно обоснованных мер по сохранению биологического разнообразия Таманского залива.

Список литературы

1. Петров К.М., Евдокимов А.С. Ландшафтный подход к районированию растительности России // Биосфера. 2023. Т. 15. № 1. С. 1–4. DOI: 10.24855/biosfera.v15i1.792. EDN: OXKLEA.

2. Петров К.М. Концепция подводного ландшафта // Известия Русского географического общества. 2020. Т. 152. № 3. С. 3–16. DOI: 10.31857/S0869607120030064. EDN: HAXITQ.

3. Ivajnši˘c D., Orlando-Bonaca M., Donša D., Gruji´c V.J., Trkov D., Mavri˘c B., Lipej L. Evaluating Seagrass Meadow Dynamics by Integrating Field-Based and Remote Sensing Techniques // Plants. 2022. № 11. P. 1196. DOI: 10.3390/plants11091196.

4. He Q., Li Z., Daleo P., Lefcheck J., Thomsen M., Adams J., Bouma T. Coastal wetland resilience through local, regional and global conservation // Nature Reviews Biodiversity. 2025. Vol. 1. P. 50–67. DOI: 10.1038/s44358-024-00004-x.

5. Сушкова Е.Г., Афанасьев Д.Ф., Беспалова Л.А. Анализ пространственной структуры распределения фитобентосных сообществ Таманского залива // Успехи современного естествознания. 2024. № 11. С. 78–84. DOI: 10.17513/use.38336.

6. Шмаков А.В., Елецкий Б.Д., Погорелов А.В. Экологический атлас юго-восточной части Азовского моря (лицензионный участок нефтяной компании «Приазовнефть») // Географические исследования Краснодарского края: сборник научных трудов / Под общ. ред. А.В. Погорелова. Т. 10. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2016. С. 237–244. EDN: WDPUEF.

7. Водно-болотные угодья России. Т. 6. М.: Wetlands International, 2006. 316 с. ISBN 978-90-5882-028-0. EDN: VLVAKB.

8. Остроумов А.А. Научные результаты экскурсии на «Атманая» // Известия Императорской академии наук. 1896. Т. IV–V. С. 389–408. URL: https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=im&paperid=4318&option_lang=rus&ysclid=melaq5vdar717710097 (дата обращения: 15.07.2025).

9. Петров К.М. Вопросы изучения и картирования подводной растительности (фитобентоса) морей // Геоботаническое картографирование. 1964. № 1964. С. 34–44. EDN: KIGQLG.

10. Громов В.В., Студеникина Е.И., Фроленко Л.Н., Шевченко В.Н. Особенности развития донных биоценозов в прибрежной зоне Азовского моря // Материалы VI съезда ВГБО. Мурманск. Т. 1. 1991 С. 25–27.

11. Бирюкова С.В., Семин В.Л., Громов В.В. Состояние донных сообществ Таманского залива после постройки дамбы Тузла в Керченском проливе // Наука Юга России. 2016. Т. 12. № 2. С. 53–67. EDN: WWWRVF.

12. Любимов И.В., Колючкина Г.А., Симакова У.В., Басин А.Б. Донные биоценозы Таманского залива Азовского моря // Океанология. 2023. Т. 63. № 6. С. 936–949. DOI: 10.31857/S0030157423060102. EDN: QNBONN.

13. Громов В.В., Шевченко В.Н., Афанасьев Д.Ф. Фитобентос Таманского залива и Керченского пролива // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна: Сб. науч. тр. М.: Национальные рыбные ресурсы, 2002. С. 170–176.

14. Панкеева Т.В., Миронова Н.В., Пархоменко А.В. Донные природные комплексы бухты Ласпи (Черное море, г. Севастополь) // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2019. Т. 5 (15). № 4. С. 319–332. EDN: WKIBET.

15. Панов Б.Н., Ломакин П.Д., Жугайло С.С. Океанографическая оценка последствий современного антропогенного воздействия на экосистему Керченского пролива // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. 2011. Т. 24 (63). № 1. С. 109–120. EDN: UZFSUL.

УДК 911.3:338.48
DOI 10.17513/use.38429

ОЦЕНКА ЭТНОКУЛЬТУРНОГО ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИЙ ПРОЖИВАНИЯ КОРЕННЫХ НАРОДОВ

Чайкина Е.В., Кайзер Ф.Ю., Брель О.А.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, e-mail: litvinova912@mail.ru

Территории проживания коренных народов России отличаются разнообразными туристско-рекреационными ресурсами, в связи с этим в стране возрастает интерес к туризму этнографической направленности. Не исключением является и Алтайский край, в пределах которого представители коренного малочисленного народа – кумандинцы, начиная с 2013 года, предпринимают активные попытки к организации туризма. В связи с этим целью работы является исследование и оценка туристско-рекреационного этнокультурного потенциала территорий проживания кумандинцев Алтайского края на основе авторской методики. В основе методики заложен системный подход, который позволяет рассматривать природные и культурно-исторические ресурсы (включая традиционные формы этнокультуры и природопользования коренных народов), инфраструктуру как взаимосвязанные элементы туристских геосистем. Предлагаемая методика представляет собой количественную и качественную характеристику отдельных блоков и параметров, которые выражены в конкретных измеряемых показателях или баллах, а также играют первоочередную роль в организации туризма этнографической направленности. Авторами определено три основных блока: историко-культурный, природный и инфраструктурный. Каждый из них состоит из одиннадцати компонентов, которые оцениваются по определенным критериям. Для качественной оценки предложены дополнительные ранжирования параметров. В конечном итоге оценка включила в себя 36 критериев. На основе этого произведена оценка этнокультурного туристско-рекреационного потенциала территорий проживания кумандинцев Алтайского края – Солтонского и Красногорского районов. Результаты оценки позволили сделать вывод о том, что условия для развития туризма этнографической направленности присутствуют в двух исследуемых районах, но лидирующую позицию занял Красногорский район.

Ключевые слова: традиционная этнокультура, туризм, коренные народы, кумандинцы

ASSESSMENT OF THE ETHNOCULTURAL TOURIST AND RECREATIONAL POTENTIAL OF TERRITORIES OF RESIDENCE OF INDIGENOUS PEOPLES

Chaikina E.V., Kaizer Ph.Yu., Brel O.A.

Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: litvinova912@mail.ru

The territories inhabited by the indigenous peoples of Russia are distinguished by a variety of tourist and recreational resources, which is why there is an increasing interest in ethnographic tourism in our country. The Altai Territory is no exception, within which representatives of the indigenous small-numbered people, the Kumandins, have been actively trying to organize tourism since 2013. In this regard, the purpose of the work is to study and evaluate the tourist and recreational ethno-cultural potential of the territories inhabited by the Kumandins of the Altai Territory based on the author's methodology. The methodology is based on a systematic approach that allows us to consider traditional forms of ethnoculture and environmental management of indigenous peoples as part of tourist ethnogeosystems. The proposed methodology is a quantitative and qualitative description of individual blocks and parameters expressed in specific measurable indicators or scores that play a primary role in the organization of ethnocultural tourism. The authors have identified three main blocks: historical and cultural, natural and infrastructural. Each of them consists of eleven components, which are evaluated according to certain criteria. Additional parameter rankings are proposed for a qualitative assessment. In the end, the assessment included 36 criteria. Based on this, an assessment was made of the ethnocultural tourist and recreational potential of the territories inhabited by Kumandins of the Altai Territory – the Solton and Krasnogorsk districts. The results of the assessment led to the conclusion that the conditions for the development of ethnographic tourism are present in the two studied areas, but the Krasnogorsk district took the leading position.

Keywords: traditional ethnoculture, tourism, indigenous peoples, Kumandins

Введение

Территории проживания коренных народов России отличаются разнообразными туристско-рекреационными ресурсами, при этом уникальность данных мест подчеркивают современные практики местного населения в области традиционной культуры. В последние несколько лет в стране возрастает интерес к туризму этнографической направленности. Не исключением является и Алтайский край, в пределах которого проживает коренной малочисленный народ – кумандинцы. Местное население здесь, начиная с 2013 года, предпринимает активные попытки к организации туризма этнографической направленности.

Все это создает основу для научных исследований территорий проживания коренных народов с целью определения их привлекательности и перспектив для развития туризма. Однако в большинстве – все они сводятся лишь к перечислению и классификации (распределению по группам) имеющихся туристско-рекреационных ресурсов. Для комплексного анализа возможностей туристского развития территорий проживания коренных народов России необходимо производить оценку их туристско-рекреационного потенциала. В российской и зарубежной литературе накоплен значительный опыт исследований в данном направлении. Так, вопросами покомпонентной и интегральной оценки занимались Васюк Ю.А., Ковалевич О.А., Гудковских М.В., Мамраева Д.Г., Ташенова Л.В. [1-3]. Исследования в области экономической оценки представлены в научных трудах Кулаковой Л.И., Осипова В.А., Ушаковой Е.О., Цой М.Е. [4; 5].

Отдельные направления исследований в области этнокультурной оценки имеются в работах Фирсовой А.В. и Никитиной Ж.Е., Дирина Д.А., Гудковских М.В. [6; 7]. Подходы к оценке туристско-рекреационного потенциала в пределах территорий проживания коренных народов присутствуют в работах Scheyvens R., Carr A., Butler R., López-Molina D., Pulido-Fernández J.I. и других [8-10]. Следует отметить, что в данных работах не уделяется внимание оценке уровня сохранности современных практик традиционных форм национальной культуры этносов и возможности их вовлечения в индустрию туризма. В связи с этим **целью работы** является исследование и оценка этнокультурного туристско-рекреационного потенциала территорий проживания кумандинцев Алтайского края на основе авторской методики.

Материалы и методика исследований

Авторы работы предлагают собственную методику оценки этнокультурного туристско-рекреационного потенциала территорий проживания коренных народов, которая включает в себя два основных этапа.

1. Оценка компонентов этнокультурного туристско-рекреационного потенциала: природного блока, культурно-исторического блока, инфраструктурного блока.

2. Общая итоговая оценка этнокультурного туристско-рекреационного потенциала.

В ходе исследования использовалась информация туристско-рекреационного характера научных работ российских авторов, атласа Алтайского края, энциклопедии Алтайского края, спутниковых карт, а также полевых материалов авторов (Чайкиной Е.В.), собранных в рамках экспедиционной поездки в Красногорский и Солтонский районы.

Результаты исследования и их обсуждение

Предлагаемая методика оценки этнокультурного туристско-рекреационного потенциала представляет собой количественную и качественную характеристику отдельных блоков и параметров, которые выражены в конкретных измеряемых показателях или баллах, а также играют первоочередную роль в организации туризма этнокультурной направленности. Для полноценной и комплексной оценки этнокультурного потенциала определено 3 основных блока, состоящих из 11 компонентов. Каждый из компонентов оценивается по определенным критериям, которые можно измерить либо количественно, либо качественно. Для качественной оценки предложены дополнительные ранжирования параметров.

Параметрами оценки природного блока являются следующие.

1. Компонент оценки орографических ресурсов: *количество форм рельефа* (1 ед. – 1 балл, 2 ед. – 2 балла, 3 ед. – 4 балла, 5 ед. – 5 баллов); *амплитуда высот* (⩾30 м – 1 балл, ⩾100 м – 2 балла, ⩾500 м – 3 балла, ⩾1000 м – 4 балла, ⩾1200 м – 5 баллов), *преобладающий характер рельефа* (балл).

2. Компонент оценки климатических ресурсов: *продолжительность солнечного сияния* (500 ч/год – 1 балл, ⩾1000 ч/год – 2 балла, ⩾1500 ч/год – 3 балла, ⩾ 2000 ч/год – 4 балла, ⩾2500 ч/год – 5 баллов); *среднегодовое количество осадков* (⩾ 250 мм в год – 1 балл, ⩾ 500 мм в год – 2 балла, ⩾ 750 мм в год – 3 балла, ⩾ 1000 мм в год – 4 балла, более 1250 мм в год – 5 баллов); *средняя продолжительность безморозного периода* (⩾ 25 дней – 1 балл, ⩾ 50 дней – 2 балла, ⩾ 75 дней – 3 балла, ⩾ 100 дней – 4 балла, ⩾ 125 дней – 5 баллов); *среднегодовая скорость ветра* (⩾ 5 м/с – 1 балл, ⩾ 10 м/с – 2 балла, ⩾ 15 м/с – 3 балла, ⩾ 20 м/с – 4 балла, ⩾ 25 м/с – 5 баллов); *средняя высота снежного покрова* (⩾ 20 м – 1 балл, ⩾ 40 м – 2 балла, ⩾ 60 м – 3 балла, ⩾80 м – 4 балла, ⩾ 100 м – 5 баллов).

3. Компонент оценки гидрографических ресурсов: *наличие крупных рек* (⩾ 5 ед. – 1 балл, ⩾ 10 ед. – 2 балла, ⩾ 15 ед. – 3 балла, ⩾ 20 ед. – 4 балла, ⩾ 25 ед. – 5 баллов); *наличие прудов, озер, карьеров* (⩾ 5 ед. – 1 балл,

⩾ 10 ед. – 2 балла, ⩾ 15 ед. – 3 балла, ⩾ 20 ед. – 4 балла, ⩾ 25 ед. – 5 баллов); *наличие родников* ((⩾ 5 ед. – 1 балл, ⩾ 10 ед. – 2 балла, ⩾ 15 ед. – 3 балла, ⩾ 20 ед. – 4 балла, ⩾ 25 ед. – 5 баллов).

4. Компонент оценки земельных ресурсов: *наличие разнообразных видов почв* (1 ед. – 1 балл, 2 ед. – 2 балла, 3 ед. – 4 балла, ⩾ 5 ед. – 5 баллов); *земли лесного фонда* (⩾ 25% – 1 балл, ⩾ 50% – 2 балла, ⩾ 75% – 3 балла, ⩾ 100% – 4 балла, ⩾ 125% – 5 баллов); *сельскохозяйственные угодья* (⩾ 5% – 1 балл, ⩾ 10% – 2 балла, ⩾ 15% – 3 балла, ⩾ 20% – 4 балла, ⩾ 25% – 5 баллов); *распаханность территории* (⩾ 5% – 1 балл, ⩾ 10% – 2 балла, ⩾ 15% – 3 балла, ⩾ 20% – 4 балла, ⩾ 25% – 5 баллов).

5. Компонент оценки флористических ресурсов: *породный состав леса* (балл); *дикорастущие плодово-ягодные растения и грибы* (⩾ 5 видов – 1 балл, ⩾ 10 видов – 2 балла, ⩾ 15 видов – 3 балла, ⩾ 20 видов – 4 балла, ⩾ 25 видов – 5 баллов); *дикорастущие лекарственные растения* (⩾ 5 видов – 1 балл, ⩾ 10 видов – 2 балла, ⩾ 15 видов – 3 балла, ⩾ 20 видов – 4 балла, ⩾ 25 видов – 5 баллов).

6. Компонент оценки фаунистических ресурсов: *промысловые виды животных* (⩾ 5 видов – 1 балл, ⩾ 10 видов – 2 балла, ⩾ 15 видов – 3 балла, ⩾ 20 видов – 4 балла, ⩾ 25 видов – 5 баллов); *промысловые виды рыб* (⩾ 5 видов – 1 балл, ⩾ 10 видов – 2 балла, ⩾ 15 видов – 3 балла, ⩾ 20 видов – 4 балла, ⩾ 25 видов – 5 баллов).

Дополнительное ранжирование параметра «Преобладающий характер рельефа» включил в себя следующие критерии: аллювиальные равнины с высотой от 1 до 35 м (1 б.), цокольные эолово-аллювиальные равнины на склоново-глыбовом основании высотой от 60 до 140 м (2 б.), эрозионные останцево-грядовые горы высотой от 400 до 800 м (3 б.), эрозионные останцево-гребневидные горы с перепадами высот от 500 до 1200 м (4 б.), *пенепленизированные* аккумулятивно-денудационные горы высотой от 800 до 2000 м (5 б.).

Дополнительное ранжирование параметра «Породный состав леса» включил в себя следующие критерии: смешанные леса со значительным преобладанием мелколиственных пород (более 90%) – сосново-березовый, сосново-осиново-березовый (1 б.); смешанные леса с весовым значением хвойных пород (более 20%) – сосново-березовый, сосново-осиновый, чисто березовые насаждения (более 90%) (2 б.); смешанные леса с весовым значением хвойных пород (более 50%) – березово-осиновый, осиново-сосновый (3 б.); хвойные леса преобладают (более 70%) с достаточным числом темнохвойных пород (4 б.); смешанный лес со значительным преобладанием (более 65%) светлохвойных пород – сосны или лиственницы (5 б.).

Параметрами оценки культурно-исторического блока явились следующие.

1. Компонент оценки материального культурного наследия коренных народов: *традиционные типы жилищ коренных народов* (балл); *традиционная одежда и обувь, украшения коренных народов* (балл); *национальная кухня коренных народов* (балл); *домашняя утварь коренных народов* (балл); *этнокультурные центры коренных народов* (балл).

2. Компонент оценки нематериального культурного наследия коренных народов: *ориентирование домохозяйств коренных народов на современные практики традиционных видов хозяйствования* (балл); *ориентирование домохозяйств коренных народов на ведение личного приусадебного хозяйства* (балл); *уровень владения с практическим использованием национального языка представителями коренных народов в межличностном общении* (балл); *уровень знаний и современных практик представителей коренных народов в области традиций и обычаев* (балл); *событийные мероприятия* (⩾ 5 мероприятий – 1 балл, ⩾10 мероприятий – 2 балла, ⩾ 15 мероприятий – 3 балла, ⩾ 20 мероприятий – 4 балла, ⩾ 20 мероприятий – 5 баллов).

Дополнительное ранжирование параметра «Традиционные типы жилищ коренных народов» включило в себя следующие критерии: отдельные устные упоминания об особенностях традиционных типов жилищ коренных народов (1 б.), фотографии традиционных типов жилищ, сохраненные в личных коллекциях представителей коренных народов (2 б.), макеты и фотографии традиционных типов жилищ, представленные в музеях (3 б.), реконструированные типы традиционных жилищ в натуральных размерах, формах и видах, представленные в естественных условиях (4 б.), аутентичные типы традиционных жилищ (5 б.).

Дополнительное ранжирование параметра «Традиционная одежда и обувь, украшения коренных народов» включило в себя следующие параметры: отдельные устные упоминания об особенностях традиционной одежды и обуви, украшениях корен-

ных народов (1 б.), фотографии одежды и обуви, украшений, сохраненные в личных коллекциях представителей коренных народов (2 б.), хранение различных видов традиционной одежды и обуви, украшений, представленные в фондах музеев (3 б.), использование традиционной одежды и обуви, украшений представителями коренных народов во время этнокультурных мероприятий, включая туристские (4 б.), использование традиционной одежды и обуви, украшений представителями коренных народов в повседневной жизни (5 б.).

Дополнительное ранжирование параметра «Национальная кухня коренных народов» включило в себя следующие критерии: отдельные устные упоминания об особенностях национальной кухни коренных народов (1 б.), сохранность рецептов национальных блюд в письменном виде в личных коллекциях представителей коренных народов (2 б.), сохранность рецептов национальных блюд в письменном виде и их хранение в фондах музеев (3 б.), приготовление национальных блюд представителями коренных народов в рамках событийных мероприятий, включая туристские (4 б.), приготовление национальных блюд представителями коренных народов в повседневной жизни (5 б.).

Дополнительное ранжирование параметра «Домашняя утварь коренных народов» включило в себя следующие параметры: отдельные устные упоминания о видах домашней утвари коренных народов (1 б.), фотографии домашней утвари в личных коллекциях представителей коренных народов (2 б.), фотографии, экспонаты, макеты домашней утвари коренных народов в фондах музеев (3 б.), использование домашней утвари представителями коренных народов в рамках событийных мероприятий, включая туристские (4 б.), использование домашней утвари представителями коренных народов в повседневной жизни (5 б.).

Дополнительное ранжирование параметра «Ориентирование домохозяйств коренных народов на современные практики традиционных видов хозяйствования» включило в себя следующие критерии: представления о традиционных видах хозяйствования коренных народов имеются только в устной форме (1 б.), традиционные виды хозяйствования играют незначительную роль (2 б.), важную роль (3 б.), очень важную роль (4 б.) или значительную роль (5 б.) в бюджете семей коренных народов.

Дополнительное ранжирование параметра «Ориентирование домохозяйств коренных народов на ведение личного приусадебного хозяйства» включило в себя следующие критерии: представления о видах личного подсобного хозяйствования (земледелие и скотоводство) коренных народов имеются только в устной форме (1 б.), личное подсобное хозяйство играет незначительную роль (2 б.), важную роль (3 б.), очень важную (4 б.) или значительную роль (5 б.) в бюджете семей коренных народов.

Дополнительное ранжирование параметра «Уровень владения с практическим использованием национального языка представителями коренных народов в межличностном общении» включило в себя следующие критерии: представители коренных народов практически не понимают и не говорят на национальном языке (1 б.); не много понимают и не говорят на национальном языке (2 б.); понимают, но говорят с трудом на национальном языке (3 б.); понимают, могут разговаривать на национальном языке (4 б.); владеют свободно, могут говорить и писать на национальном языке (5 б.).

Дополнительное ранжирование параметра «Уровень знаний и современных практик представителей коренных народов в области традиций и обычаев» включило в себя следующие критерии: представители коренных народов практически не знают и не придерживаются (1 б.), имеют смутное представление и не придерживаются (2 б.), знают наиболее характерные и частично придерживаются (3 б.), хорошо знают и частично придерживаются (4 б.), хорошо знают и полностью придерживаются (5 б.) традиций и обычаев.

Параметрами оценки инфраструктурного блока явились следующие.

1. Транспортная доступность: *удаленность от центра* (⩾ 400 км – 1 балл, ⩾ 350 км – 2 балла, ⩾ 300 км – 3 балла, ⩾ 250 км – 4 балла, ⩾ 200 км – 5 баллов); *транспортные связи с соседними субъектами* (балл).

2. Средства коллективного размещения: *количество туристских баз отдыха, кемпингов* (⩾ 5 ед. – 1 балл, ⩾ 10 ед. – 2 балла, ⩾15 ед. – 3 балла, ⩾ 20 ед. – 4 балла, ⩾ 25 ед. – 5 баллов); *количество гостиниц* (⩾ 5 ед. – 1 балл, ⩾ 10 ед. – 2 балла, ⩾15 ед. – 3 балла, ⩾ 20 ед. – 4 балла, ⩾ 25 ед. – 5 баллов).

3. Места общественного питания: *количество общедоступных столовых, закусочных* (⩾ 5 ед. – 1 балл, ⩾ 10 ед. – 2 балла, ⩾ 15 ед. – 3 балла, ⩾ 20 ед. – 4 балла, ⩾ 25 ед. – 5 баллов); *количество обще-*

доступных ресторанов и кафе (⩾ 5 ед. – 1 балл, ⩾ 10 ед. – 2 балла, ⩾ 15 ед. – 3 балла, ⩾ 20 ед. – 4 балла, ⩾ 25 ед. – 5 баллов).

Дополнительное ранжирование параметра «Транспортные связи с соседними субъектами» включило в себя следующие критерии: только зимники, водный речной или морской транспорт (1 б.), только автомобильные дороги (2 б.), автомобильные дороги и железнодорожный транспорт (3 б.), автомобильные дороги, железнодорожный транспорт, авиасообщение (4 б.), автомобильные дороги магистрального типа, железнодорожный транспорт, авиасообщение (5 б.). Всего оценка включила в себя 36 критериев.

Поскольку в каждом блоке получилось разное количество параметров, для сравнивания их результатов предлагается вводить поправочные коэффициенты, которые отражают значимость каждого параметра при организации туризма в пределах мест компактного проживания коренных народов. В предлагаемой методике были использованы следующие поправочные коэффициенты: 0,5 – низкая значимость; 1 – высокая значимость; 1,5 – первостепенная значимость. Так, в группу с низкой значимостью попали такие компоненты, как транспортная доступность, средства коллективного размещения, места общественного питания (инфраструктурный блок); компоненты с высокой значимостью: орографические, климатические, гидрологические, земельные, флористические и фаунистические ресурсы (природный блок); компоненты с первостепенной значимостью: материальное и нематериальное культурное наследие коренных народов (культурно-исторические ресурсы).

При организации туризма этнографической направленности на первый план выходит уровень сохранности традиционной культуры коренных народов. Объекты материального и нематериального наследия отражают специфику отдельных этносов, олицетворяют «живую» аутентичную культуру. В связи с этим при организации туризма в местах проживания коренных народов крайне важно иметь представление о современном состоянии форм их традиционной этнокультуры. Природные условия неразрывно связаны с этнокультурой и природопользованием коренных народов, они определяют особенности их материальных и нематериальных ценностей. От обилия, разнообразия и комфортности природных ресурсов зависит и организация туризма. В связи с этим природный блок полностью со всеми компонентами отнесен к параметру, который имеет высокую значимость для организации туризма этнографической направленности. Как правило, туризм в местах компактного проживания коренных народов отличается приобщением приезжающих гостей к их аутентичной культуре и природопользованию, а также единению с природой. Подобный отдых не предполагает высокого класса проживания, питания и сервиса. В этой связи компонентам инфраструктурного блока присваивается низкий уровень значимости.

Оценку туристско-рекреационного этнокультурного потенциала предлагается производить по формуле:

$$ТРЭП = ПБ + КИБ + ИФ,$$

где ТРЭП – туристско-рекреационный этнокультурный потенциал; ПБ – природный блок; КИБ – культурно-исторический блок; ИФ – инфраструктурный блок.

Каждый из блоков рассчитывается по формуле:

$$B_i = \sum k_a \times a_i,$$

где B_i – блоки оценки i-го района; a – компоненты блока i-го района; i – число компонентов каждого блока; k_a – коэффициент значимости определенного компонента в каждом из блоков.

Таким образом, конечным результатом оценки является сумма баллов по каждому критерию в определенном блоке с учетом поправочных коэффициентов для каждого из рассматриваемых районов.

Оценка туристско-рекреационного потенциала территорий компактного проживания коренного малочисленного народа Алтайского края включила в себя сравнение двух районов – Солтонского и Красногорского. Первым был произведен расчет компонентов природного блока (табл. 1). При расчете показателей, входящих в данный блок, были использованы: атлас Алтайского края, спутниковые карты «Яндекс» и Google, энциклопедия Алтайского края [11, с. 7-21; 12, с. 12-77].

Солтонский и Красногорский районы Алтайского края схожи между собой по особенностям природных условий. Однако Красногорский район с точки зрения развития туризма этнографической направленности оказался чуть привлекательнее, чем Солтонский. Это объясняется более разнообразным рельефом и наличием большего количество различных видов гидрографических ресурсов.

Таблица 1

Общий итог оценки природного блока туристско-рекреационного потенциала Солтонского и Красногорского районов Алтайского края

Район/ компоненты оценки природного блока	Орографические ресурсы	Климатические ресурсы	Гидрографические ресурсы	Земельные ресурсы	Флористические ресурсы	Фаунистические ресурсы	Сумма
Солтонский	7	16	11	4	4,5	2	44,5
Красногорский	11	16	10	4	4,5	2	47,5
Итого	18	32	21	8	9	4	92

Источник: составлено авторами.

Таблица 2

Общий итог оценки культурно-исторического блока туристско-рекреационного потенциала Солтонского и Красногорского районов Алтайского края

Район/компоненты оценки природного блока	Материальное культурное наследие коренных народов	Нематериальное культурное наследие коренных народов	Сумма
Солтонский	22,5	16,5	39
Красногорский	27	16,5	43,5
Итого	49,5	36	85,5

Источник: составлено авторами.

Таблица 3

Общий итог оценки инфраструктурного блока туристско-рекреационного потенциала Солтонского и Красногорского районов Алтайского края

Район/ компоненты оценки природного блока	Транспортная доступность	Средства коллективного размещения	Места общественного питания	Сумма
Солтонский	2,5	1	1	4,5
Красногорский	3	1	1	5
Итого	5,5	2	2	9,5

Источник: составлено авторами.

Далее был произведен расчет компонентов культурно-исторического блока (табл. 2). При расчете показателей, входящих в данный блок, были использованы материалы российских авторов и полевые материалы авторов, собранные в ходе научной экспедиции в места компактного проживания коренного малочисленного народа Алтайского края – кумандинцев [13, с. 789-794; 14, с. 73-78; 15, с. 98-114].

Наибольшим культурно-историческим потенциалом для целей развития туризма в местах компактного проживания коренного народа обладает Красногорский район. Это объясняется более высокой активностью местного населения и наличием здесь центров кумандинской культуры (с. Красногорское и с. Новозыково), в которых ведется активная работа по восстановлению, сохранению и популяризации кумандинской культуры.

После этого был произведен расчет инфраструктурного блока (табл. 3). При расчете данного показателя были использованы спутниковые карты «Яндекс» и Google. А также полевые материалы авторов, собранные в ходе научной экспедиции в места компактного проживания коренного малочисленного народа Алтайского края – кумандинцев [15, с. 98-114].

Таблица 4

Туристско-рекреационный потенциал территорий компактного проживания коренного малочисленного народа Алтайского региона

№	Район/блок оценки	ПБ	КИБ	ИФ	Итог:
1	Красногорский	47,5	43,5	5	96
2	Солтонский	44,5	39	4	87,5

Источник: составлено авторами.

Солтонский и Красногорский районы Алтайского края отличаются низким уровнем развития инфраструктуры. При этом в Красногорском районе данный показатель выше, чем в Солтонском. Однако это не является существенной проблемой при организации туризма в местах компактного проживания коренных народов, поскольку данный вид отдыха направлен на приобщение к аутентичной культуре этносов в естественных для них условиях проживания и не предполагает слишком комфортных условий для приезжающих гостей. Итоговый результат представлен в таблице 4.

Заключение

Произведенная оценка туристско-рекреационного потенциала территорий компактного проживания коренного малочисленного народа Алтайского края показала, что условия для развития туризма на их землях присутствуют как в Солтонском, так и в Красногорском районах, но лидирующую позицию занял Красногорский район. Это объясняется более разнообразными природными условиями, более высоким уровнем сохранности знаний в области традиционных форм этнокультуры, чуть более выгодной транспортной доступностью, а также большим количеством и видами средств коллективного размещения и мест общественного питания.

Разработанная методика оценки туристско-рекреационного потенциала территорий компактного проживания коренных народов представляет собой попытку учесть уровень и качество необходимых ресурсов для целей туризма и производить сравнение различных районов. Отличительной особенностью является комплексное исследование основных компонентов туристских геосистем, ранжирование их по степени значимости для целей туризма этнографической направленности, при этом главенствующая роль в нем отводится уровню сохранности современных форм этнокультуры коренных народов. Он позволяет производить сравнение этнокультурного туристско-рекреационного потенциала различных территорий проживания коренных народов, определять возможности для развития туризма, а также прогнозировать устойчивое развитие территорий с учетом социального и природного капитала.

Данная методика имеет практическую значимость и может быть использована при составлении региональных программ развития туризма и при планировании и организации туризма в местах проживания коренных народов.

Список литературы

1. Власюк Ю.А., Ковалевич О.А. Оценка туристского потенциала // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D. Экономические и юридические науки. 2017. № 13. С. 30-36. URL: https://elib.psu.by/handle/123456789/21248 (дата обращения: 09.04.2025). EDN: YLNOWY.

2. Гудковских М.В. Методика комплексной оценки туристско-рекреационного потенциала // Географический вестник. 2017. № 1 (40). С. 102-116. URL: https://press.psu.ru/index.php/geogr/article/view/181 (дата обращения: 02.04.2025). DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-102-116. EDN: YNBUUL.

3. Мамраева Д.Г., Ташенова Л.В. Методический инструментарий оценки туристско-рекреационного потенциала региона // Экономика региона. 2020. Т. 16. № 1. С. 127-140. URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/92054/1/2020_16_1_010.pdf (дата обращения: 04.07.2025). DOI: 10.17059/2020-1-10. EDN: WJTKRU.

4. Кулакова Л.И., Осипов В.А. Методические подходы к оценке туристско-рекреационного потенциала российских регионов // Российское предпринимательство. 2017. № 24. С. 4262-4272. URL: https://1economic.ru/lib/38687 (дата обращения: 15.03.2025). DOI: 10.18334/rp.18.24.38687. EDN: YQUEZD.

5. Ушакова Е.О., Цой М.Е. Разработка методического подхода к оценке туристско-рекреационного потенциала региона // Сервис в России и за рубежом. 2017. № 4 (74). С. 18-33. URL: https://ruservices.rgutspubl.org/index.php/1/issue/view/2017_11_4-74/2017_11_4-74 (дата обращения: 28.03.2025). DOI: 10.22412/1995-042X-11-4-2. EDN: WIFLTI.

6. Фирсова А.В., Никитина Ж.Е. Туристский район «Парма»: оценка ресурсов и перспективные направления // Туризм как фактор модернизации экономики и развития регионов: Материалы I Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет. 2015. С. 170-179. URL: file:///C:/Users/1/Downloads/SBORNIK_Joshkar-Ola_2015.pdf (дата обращения: 11.03.2025). EDN: VMQHGH.

7. Дирин Д.А., Гудковских М.В. Подходы к оценке культурно-исторических туристских ресурсов // Туристско-рекреационный комплекс в системе регионального развития: Материалы X Международной научно-практической кон-

ференции, Краснодар, 11–15 апреля 2022 года. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2022. С. 21-25. URL: https://kubsu.ru/sites/default/files/faculty/materialy_konferencii_trkvsrr_2022.pdf?ysclid=mb6o4wjhkt282154821 (дата обращения: 15.04.2025). EDN: CCOXAA.

8. Scheyvens R., Carr A., Movono A., Hughes E., Higgins-Desbiolles F., Mika J.P. Indigenous tourism and the sustainable development goals // Annals of Tourism Research. 2021. Vol. 90. № 103260. URL: https://ideas.repec.org/a/eee/anture/v90y2021ics0160738321001389.html (дата обращения: 05.07.2025). DOI: 10.1016/j.annals.2021.103260.

9. Butler R. Research on Tourism, Indigenous Peoples and Economic Development: A Missing Component // Land. 2021. Vol. 10. № 1329. URL: https://www.mdpi.com/2073-445X/10/12/1329 (дата обращения: 17.04.2025). DOI: 10.3390/land10121329.

10. López-Molina D., Pulido-Fernández J.I. Proposal to measure tourism development within a destination and segment its different territories // Heliyon. 2023. Vol. 9. Is. 10. P. 1-29. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023077046 (дата обращения: 17.04.2025). DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e20496.

11. Атлас Алтайского края / разраб. Алтайским гос. ун-том совместно с Новосибир. картогр. ф-кой; редкол.: В.Т. Христенко (пред.) и др.; спец. содерж. разраб.: М.Т. Абдуганеев и др.; сост. и подгот. к печати Новосибир. картогр. ф-кой в 1990 г.; отв. ред. А.Г. Чимшидова; ред. Н.К. Любимова. Москва: Госгеодезия СССР, 1991. 35 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008909252/ (дата обращения: 17.04.2025).

12. Энциклопедия Алтайского края. Барнаул: Алт. кн. изд-во, 1995. Т. 1. 367 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_bibl_1227180/ (дата обращения: 17.04.2025). ISBN 5-7405-0234-9.

13. Николаев В.В. Национально-культурное возрождение кумандинцев на рубеже XX-XXI веков // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. 2020. Т. 26. С. 789-794. URL: http://paeas.ru/Articleru/466 (дата обращения: 15.07.25). DOI: 10.17746/2658-6193.2020.26.789-794. EDN: OQHXTF.

14. Фокина Е., Абишева Ж., Аубакирова А. Гастрономическая культура малочисленных народов Алтая как основа развития туризма (на примере кумандинцев) // Siberian Journal of Tourism and Economic. 2023. № 15. С. 73-78. URL: https://journal.asu.ru/st/article/view/16064 (дата обращения: 12.01.25). EDN: IFRDAF.

15. Брель О.А., Чайкина Е.В., Кайзер Ф.Ю., Жорова О.И. Анализ туристских территорий регионов Южной Сибири в контексте развития этнографического туризма // Географический вестник. 2022. № 4 (63). С. 98–114. URL: https://press.psu.ru/index.php/geogr/article/view/6070 (дата обращения: 12.01.25). DOI: 10.17072/2079-7877-2022-4-98-114.

УДК 504.064:628.51:543.05:543.26
DOI 10.17513/use.38430

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА, ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА УРОВЕНЬ ЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Шишкин А.В., Кочетова Ж.Ю., Вартазарова А.Э.

ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, e-mail: an_vartazarova@mail.ru

Цель работы – изучение качества воздуха, взаимосвязи между концентрациями специфических загрязнителей и метеорологическими условиями на границе санитарно-защитной зоны химически опасного предприятия I класса опасности, расположенного в густонаселенном районе г. Воронежа. Объект исследования – двухлетняя динамика загрязнения атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны предприятия I класса опасности. Для оценки качества воздуха по шести приоритетным загрязнителям рассчитывали комплексный показатель – степень опасности загрязнения воздуха, учитывающий соотношение текущих и предельно допустимых концентраций загрязнителей и классы их опасности. Для установления направленности и тесноты связи между концентрациями индивидуальных загрязнителей и метеорологическими параметрами рассчитывали ранговые коэффициенты корреляции Спирмена. Установлено, что на границе санитарно-защитной зоны с подветренной стороны предприятия качество воздуха в 57% случаев ранжируется как умеренное загрязнение атмосферы; в 23% – опасное. Качество воздуха ухудшается в теплый период года за счет повышения концентраций бутадиена, стирола и формальдегида. В холодный период увеличиваются концентрации оксида углерода и твердых частиц на фоне снижения содержания в воздухе других загрязнителей. Значимые коэффициенты корреляции Спирмена установлены между содержанием загрязнителей и температурой, а также влажностью воздуха. Значимое влияние скорости ветра на концентрации загрязнителей воздуха не установлено, что объясняется высокой динамикой атмосферных процессов. В наблюдаемый двухлетний период основной вклад в загрязнение воздуха вносит бутадиен – соединение III класса опасности, канцероген. Содержание в воздухе формальдегида (II класс опасности, канцероген) повышается в летний период в несколько раз.

Ключевые слова: качество воздуха, метеорологические параметры, динамика загрязнения воздуха, бутадиен, стирол, толуол, оксид углерода, твердые частицы, формальдегид

THE INFLUENCE OF WIND SPEED, HUMIDITY AND AIR TEMPERATURE ON THE LEVEL OF POLLUTION

Shishkin A.V., Kochetova Zh.Yu., Vartazarova A.E.

Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, e-mail: an_vartazarova@mail.ru

The aim is to study air quality, the relationship between concentrations of specific pollutants and meteorological conditions at the border of the sanitary protection zone of a chemically hazardous enterprise of hazard class I located in a densely populated area of Voronezh. The object of the study is the two–year dynamics of atmospheric air pollution at the border of the sanitary protection zone of an enterprise of hazard class I. To assess air quality for six priority pollutants, a comprehensive indicator was calculated – the degree of danger of air pollution, taking into account the ratio of current and maximum permissible concentrations of pollutants and their hazard classes. To establish the direction and closeness of the relationship between the concentrations of individual pollutants and meteorological parameters, Spearman's rank correlation coefficients were calculated. It was found that at the border of the sanitary protection zone on the leeward side of the enterprise, air quality is rated as moderate atmospheric pollution in 57% of cases.; in 23%, it is dangerous. Air quality deteriorates during the warmer months due to increased concentrations of butadiene, styrene and formaldehyde. During the cold period, concentrations of carbon monoxide and particulate matter increase against the background of a decrease in the content of other pollutants in the air. Significant Spearman correlation coefficients have been established between the content of pollutants and temperature, as well as air humidity. The significant effect of wind speed on the concentration of air pollutants has not been established, which is explained by the high dynamics of atmospheric processes. In the observed two–year period, the main contribution to air pollution is made by butadiene, a compound of hazard class III, a carcinogen. The formaldehyde content in the air (hazard class II, carcinogen) it increases several times in the summer.

Keywords: air quality, meteorological parameters, dynamics of air pollution, butadiene, styrene, toluene, solid particles, carbon monoxide, formaldehyde

Введение

Загрязнение воздуха в городах является серьезной экологической проблемой, которая обостряется год от года, несмотря на принимаемые усилия по очистке выбросов, образующихся при сжигании различного типа топлив, функционировании промышленных предприятий. По данным, опубликованным в Ежегоднике «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2022 г.» в 205 городах с общей численностью населения 71,3 млн чел.

среднегодовая концентрация одного или нескольких загрязняющих веществ в воздухе кратно превышает безопасный уровень; в 129 городах уровень загрязнения воздуха комплексом загрязняющих веществ характеризуется как высокий и очень высокий. Хорошо известна прямая связь между качеством объектов окружающей среды и ростом сердечно-сосудистых, респираторных, онкологических, кожных заболеваний. Социальные потери из-за загрязнения воздуха в России достигают 100–140 тыс. преждевременных смертей в год, а экономический ущерб – от 1,9 до 4,9 % от валового внутреннего продукта [1–3]. Проблему усугубляет рост городского населения и, как следствие, изменения в землепользовании, что приводит к слиянию промышленных и селитебных зон [4].

Для снижения количества выбросов вредных веществ, негативно воздействующих на окружающую среду и человека, в России разработан Федеральный проект «Чистый воздух» (2021 г.). Для повышения эффективности контроля качества атмосферного воздуха применяют автоматизированные системы экологического мониторинга, которые осуществляют сбор информации и передачу ее на сервер. Наиболее часто производится мониторинг следующих параметров: оксид и диоксид азота (NO и NO_2), оксид углерода (CO), диоксид серы (SO_2), аммиак (NH_3), сероводород (H_2S), формальдегид (CH_2O), озон (O_3) и аэрозольные частицы (PM10, PM2,5).

Приоритетом при выборе мест размещения передвижных и стационарных постов экологического мониторинга являются густонаселенные районы с неблагоприятной экологической обстановкой. Количество стационарных станций в городах должно зависеть от численности населения (от 1 до 16 постов). Отбор проб на них проводится ежедневно 3–4 раза в сутки с их последующим анализом в аккредитованных лабораториях. Многими авторами отмечается, что для надежной оценки качества воздуха количество этих постов недостаточно во многих городах РФ (за исключением Москвы, Санкт-Петербурга и нескольких других, участвующих в проекте «Чистый воздух») [5; 6]. Например, на территории промышленного города-миллионника Воронежа расположено всего 5 постов наблюдения за атмосферным воздухом (один – вблизи крупной магистрали, четыре – рядом с промышленными предприятиями в густонаселенных районах) [7].

Все большее распространение получают методы контроля атмосферного воздуха в населенных пунктах на основе спутниковых данных. Специалисты КБ «Стрелка» (г. Москва) в 2018 г. разработали систему для определения интегрального индекса загрязнения атмосферы TAQI (Tropomi Air Quality Index), которая является аналогом известных западных систем мониторинга. С помощью этих систем возможно выявлять очаги загрязнения атмосферного воздуха и определять концентрации некоторых приоритетных загрязнителей воздуха городов (CO, O_3, PM и др.). Надо отметить, что точность определения концентраций веществ по спутниковым данным пока оставляет желать лучшего, она зависит от метеоусловий и на разных сайтах может отличаться в одно и то же время в десятки раз [8; 9]. Кроме того, такой подход не позволяет учитывать специфику выбросов различных промышленных предприятий.

Отдельную нишу экологического мониторинга атмосферного воздуха в населенных пунктах занимает производственный контроль. Территориальные органы Росприроднадзора и Росгидромета определяют перечень объектов мониторинга атмосферного воздуха, на которых необходимо осуществлять обязательный контроль уровня загрязнения объектов окружающей среды. Предметом наблюдения при этом могут быть стационарные и передвижные источники загрязнения атмосферного воздуха, приземного атмосферного слоя промышленных площадок, рабочих зон, воздуха на границе санитарно-защитных зон (СЗЗ). Параметры исследования различаются для каждого предприятия и зависят от специфики технологических процессов и фоновых показателей. Контроль основных загрязнителей на территории предприятий и на границе СЗЗ дает представление о реальном вкладе промышленного предприятия в загрязнение воздуха города, позволяет более точно оценить риски для населения, проживающего вблизи источников выбросов [10; 11, с. 9–10].

На качество воздуха городов большое влияние оказывают метеорологические условия. Хорошо известно их влияние на содержание и распространение приоритетных загрязнителей атмосферы городов (в основном оксидов, пыли) [7]. При этом флуктуации концентраций в воздухе специфических для отдельных предприятий загрязнителей изучены мало. Установление связи между динамикой загрязнения воздуха и изменением метеопараметров (скорость ветра,

температура и влажность воздуха) позволяет прогнозировать экологическую ситуацию на границе санитарно-защитных зон и принимать своевременные решения для снижения выбросов токсикантов при неблагоприятных метеорологических условиях.

Цель работы – изучение качества воздуха, взаимосвязи между концентрациями специфических загрязнителей воздуха и метеорологическими условиями на границе санитарно-защитной зоны химически опасного предприятия I класса опасности, расположенного в густонаселенном районе г. Воронежа.

Материалы и методы исследования

Объект исследования – загрязнение атмосферного воздуха на границе СЗЗ акционерного общества «Воронежсинтезкаучук», расположенного в Левобережном районе г. Воронеж (рис. 1).

Для исследования загрязнения атмосферного воздуха на границе СЗЗ предприятия анализировали результаты контроля специфических загрязнителей в 2023 и 2024 гг. Для исследования влияния метеорологических условий на степень загрязнения атмосферы использовали архивные данные сайтов MeteoCast и Meteoblue.

Результаты исследования и их обсуждение

Город Воронеж располагается в пределах динамически активной структуры Кривоборского прогиба шириной ~30 км на границе Среднерусской возвышенности и Окско-Донской равнины, что и определяет его рельеф. Окско-Донская равнина опускается со скоростью 5,5 мм в год, а Среднерусская возвышенность поднимается. Такое движение является причиной микросейсмических колебаний, на которые влияет наличие Воронежского водохранилища, разделяющего город, и развитая городская инфраструктура. Правый берег города находится на холмистом плато с абсолютными отметками от 100 до 160 м, а левый – в пониженной плоскоравнинной местности, которая постепенно переходит в речную террасу.

Левобережный район занимает юго-восточную часть города, в его составе находятся крупный микрорайон ВАИ, а также части районов Алексеевка, Песчанка, Красный Октябрь, с. Никольское, с. Таврово, п. Масловка. Количество населения по данным Управы Левобережного района на 2024 г. составляет 184,6 тыс. чел.

Левобережный район признан самым неблагоприятным по суммарному объему промышленных выбросов, на его долю приходится 36 % общего объема выбросов заводов и фабрик города [12, с. 16]. В выбросах АО «Воронежсинтезкаучук», достигающих более 700 т в год, содержатся токсичные органические вещества, в том числе I и II класса опасности [7].

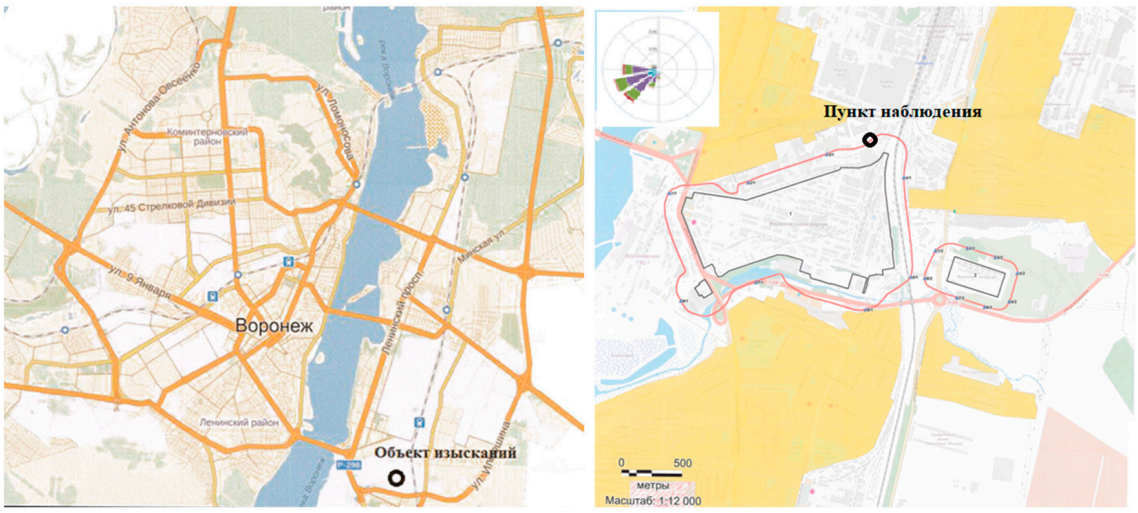


Рис. 1. АО «Воронежсинтезкаучук» в структуре г. Воронежа и расположение пункта экологического мониторинга в соответствии со среднегодовой розой ветров на границе санитарно-защитной зоны предприятия
Источник: составлено авторами на основе данных поисково-информационной картографической службы Яндекса ([Электронный ресурс]. URL: https://yandex.ru/maps/193/voronezh/ (дата обращения: 05.09.2025)

Таблица 1

Некоторые характеристики основных загрязнителей воздуха
на границе санитарно-защитной зоны АО «Воронежсинтезкаучук» [13; 14]

Загрязнитель	ПДК$_{сс}$, мг/м^3	Класс опасности	P, %	Последствия длительного воздействия на организм человека
1,3-Бутадиен (C_4H_6)	0,02	III	79	Респираторные заболевания, онкогенный риск, нейротоксическое действие, заболевания кожи и желудочно-кишечного тракта
Стирол (этилбензол C_8H_{10})	0,02*	III	22	Хронические заболевания крови, печени, желудочно-кишечного тракта, расстройства нервной системы, онкогенный риск
Толуол (метилбензол C_7H_8)	0,5*	III	24	Поражение легких, кожи, почек, печени, тяжелые сердечные реакции, изменение состава крови, разрушение костной ткани
Оксид углерода (CO)	3,0	IV	35	Заболевания центральной нервной, иммунной, эндокринной, половой, сердечно-сосудистой систем
Взвешенные частицы (PM, суммарно)	0,035	III	98	Воздействие на сердечно-сосудистую и центральную нервную системы, органы дыхания, неврологические эффекты у взрослых (уменьшение объема мозга, снижение когнитивных функций, деменция), повышаются риски развития диабета и рака легких
Формальдегид (ФА) (CH_2O)	0,01	II	20	Развитие респираторных, онкологических, невралгических, заболеваний, аллергических реакций

Примечание. * ПДК$_{сс}$ не указаны в [13], значения рассчитаны по формуле ПДК$_{сс}$ = ПДК$_{мр}^{0,6}$·ПДК$_{сг}^{0,4}$ [15].

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов», промышленные площадки АО относятся к предприятиям I класса опасности с ориентировочным размером санитарно-защитной зоны, равным 1000 м. Нормируемые объекты (в основном жилые дома малой и средней этажности) расположены от контура СЗЗ на расстоянии от 65 м (рис. 1, желтая зона).

Для исследования загрязнения атмосферного воздуха на границе СЗЗ предприятия анализировали результаты контроля специфических загрязнителей в 2023 и 2024 гг., выполненного на пункте наблюдения, который расположен на северо-восточной границе контура в соответствии с преобладающими направлениями ветра в течение года (рис. 1, роза ветров). Пробы на пункте наблюдения отбираются 2–4 раза в течение дня на высоте 2 и 4 м, а затем анализируются в независимой аккредитованной лаборатории. Некоторые результаты ежедневных исследований качества атмосферного воздуха есть в открытом доступе на официальном сайте предприятия. К веществам, подлежащим обязательному контролю на границе СЗЗ предприятия, относятся бутадиен, стирол, толуол, циклогексан, аммиак, диоксид азота, оксид углерода, твердые частицы (PM), бутилен, формальдегид (ФА) и этилмеркаптан. Для расчета интегрального показателя загрязнения атмосферы из этого перечня брали только те вещества, концентрации которых имеют высокую повторяемость превышения установленных для населенных пунктов нормативов ($P \geq 20\%$). Предельно допустимые концентрации в атмосферном воздухе городских и сельских поселений (среднесуточные ПДК$_{сс}$), классы опасности, средняя за 2 года кратность превышения среднесуточных фактических C_i предельно допустимых концентраций и воздействие на организм человека загрязнителей представлены в табл. 1.

Для оценки степени опасности загрязнения атмосферы рассчитывали интегральный показатель Q_n (для $n = 6$ загрязняющих веществ), который учитывает концентрации вредных веществ в воздухе и степень их воздействия на организм человека [16, с. 6]:

$$Q_n = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} K_{oi}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{k_i C_i}{ПДК_i}}, \qquad (1)$$

где K_{oi} – коэффициент опасности i-го загрязнителя; k_i – коэффициент изоэффективности, зависящий от класса опасности i-го вещества (для I класса $k = 2,0$; II – 1,5: III – 1,0;

IV – 0,8). В отличие от распространенного индекса загрязнения атмосферы (ИЗА), учитывающего вклад пяти загрязнителей, этот показатель позволяет оценивать комплексное загрязнение воздуха для различного количества веществ (от 2 до 20 и более). Для шести загрязняющих веществ шкала степени опасности загрязнения атмосферы включает ранги: I) $Q \leq 1{,}9$ – допустимое загрязнение атмосферы; II) $2{,}0 \leq Q \leq 3{,}0$ – слабое; III) $3{,}1 \leq Q \leq 6{,}0$ – умеренное; IV) $6{,}1 \leq Q \leq 12{,}0$ – сильное; V) $Q \geq 12{,}1$ – опасное.

Для исследования влияния метеорологических условий на степень загрязнения атмосферы использовали архивные данные сайтов MeteoCast и Meteoblue. Среднемесячная повторяемость направления ветра в г. Воронеже показана на рис. 2. Преобладающее направление – юго-западное (реже западное), что на данном этапе работы позволило исследовать показания загрязнения атмосферы одного пункта наблюдения, расположенного с подветренной стороны предприятия (рис. 1). Минимальная за два исследуемых года скорость ветра составляла 0,34 м/с (февраль); максимальная – 10,66 м/с (ноябрь); среднее значение – 4,22 м/с. В холодный период (ноябрь – февраль) скорость ветра достигает 8 м/с и более.

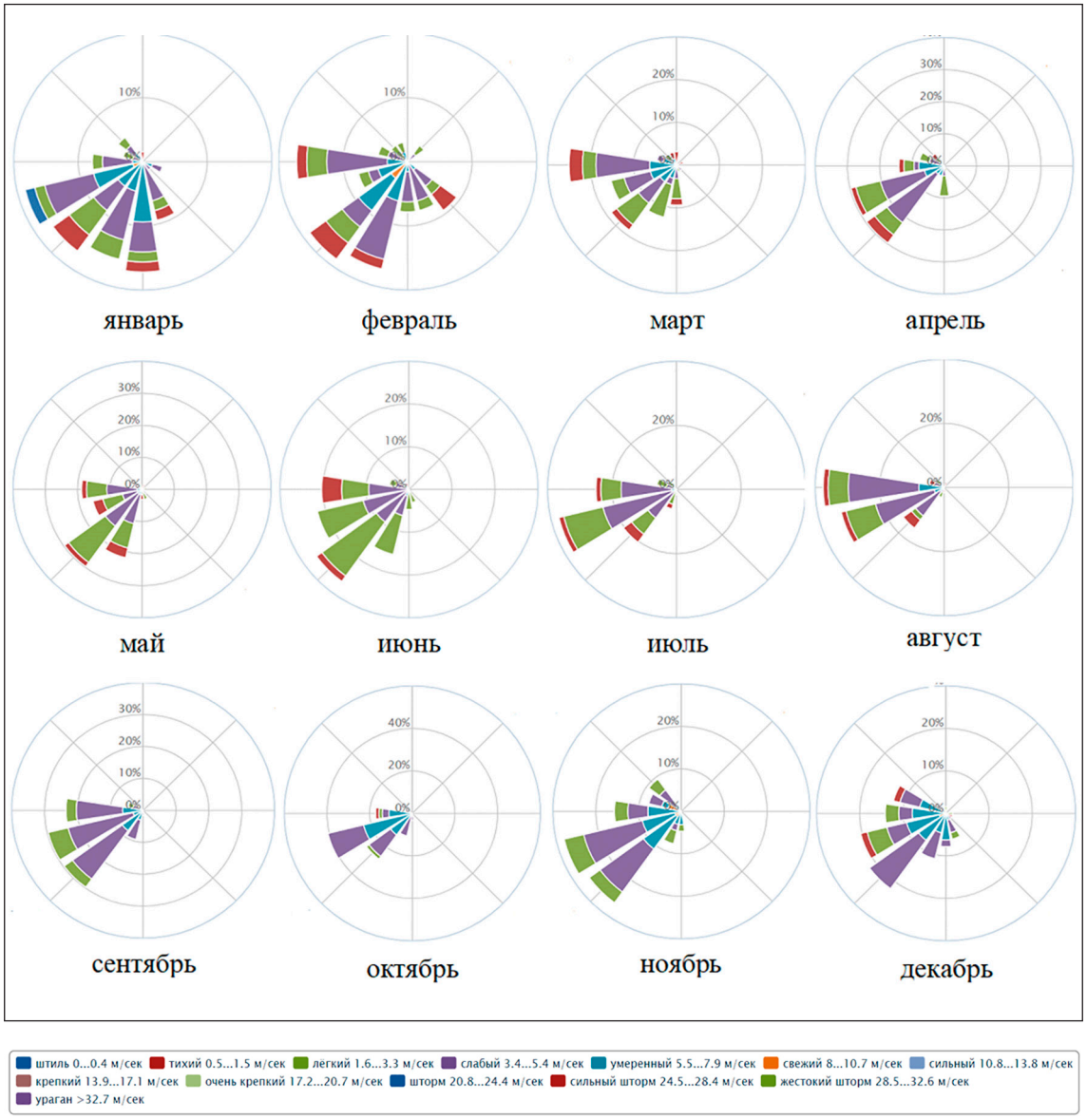


Рис. 2. Роза ветров в г. Воронеже.
Источник: составлено авторами по данным сайтов MeteoCast и Meteoblue

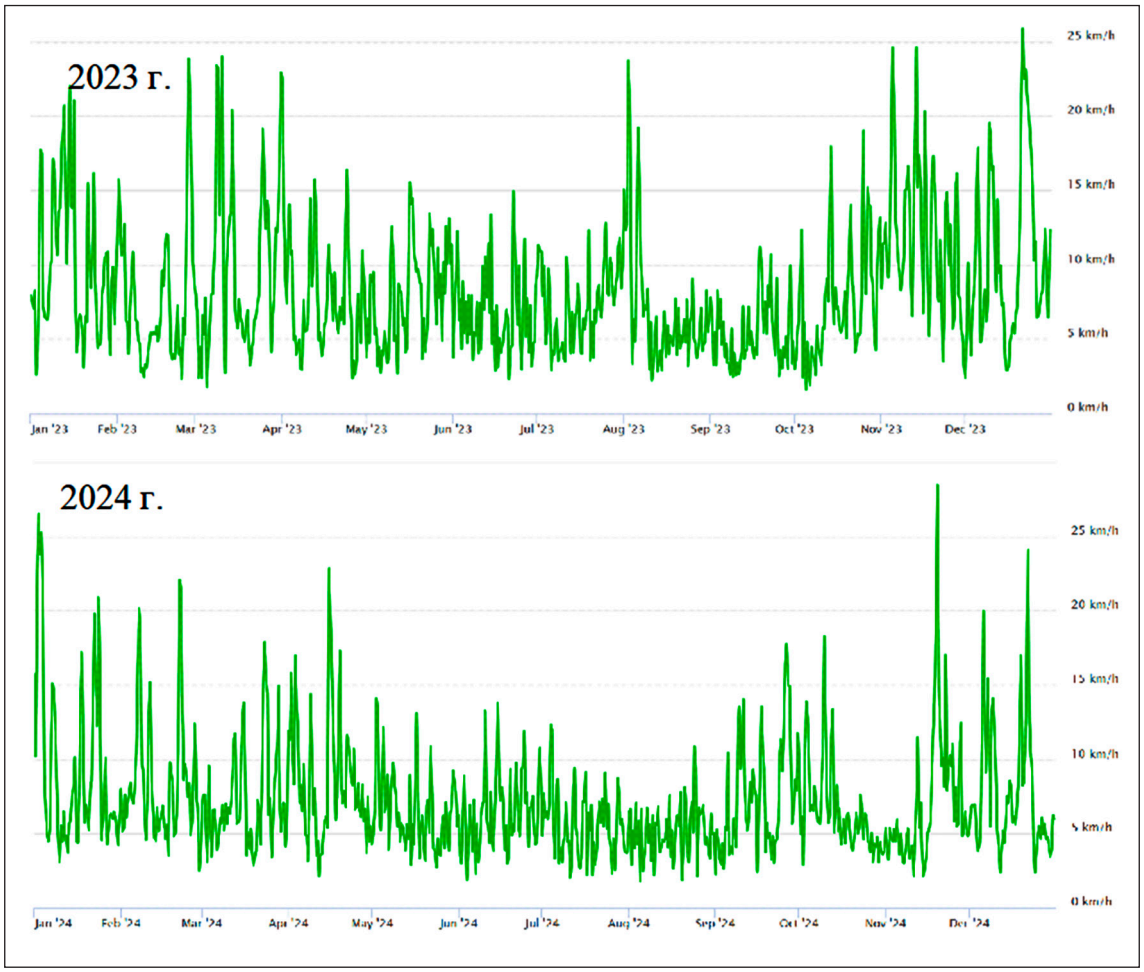


Рис. 3. Изменение скорости ветра (м/с) в г. Воронеже
Источник: составлено авторами по данным сайтов MeteoCast и Meteoblue

В теплые месяцы (май – сентябрь) она не превышает 6,7 м/с. Дни со штилем, когда пониженный турбулентный обмен снижает рассеивание низких выбросов и увеличивает поступление в приземный слой высоких выбросов, наблюдается в летний период. Однако это явление может наблюдаться и зимой, когда при ослаблении ветра до штиля происходит подъем перегретых выбросов от отдельных высоких источников в верхние слои атмосферы, где они рассеиваются. Если при этих условиях наблюдается инверсия, которая образует «потолок», препятствующий подъему выбросов, то концентрация загрязняющих веществ в приземном слое возрастает [17]. Изменение скорости ветра за исследуемый период представлено на рис. 3.

Воронеж расположен в зоне умеренного климата. Зима умеренно морозная, имеется устойчивый снежный покров, который в последние годы образуется в начале или середине декабря. Зимой часто бывают оттепели, которые могут сопровождаться дождем (особенно в декабре). В то же время бывают и заморозки с температурами ниже –20 °С, которые длятся неделю и более. Весна начинается во второй половине марта, в апреле температура может достигать +20 °С (как это было в наблюдаемый период), но в любой день может похолодать и пойти снег. Заморозки могут быть и в мае, но к концу месяца устанавливается теплая летняя погода, когда столбики термометров поднимаются до +30 °С. Летние месяцы, а последнее время и начало сентября, теплые и жаркие. Самые высокие температуры фиксируются в июле и августе (30–35 °С и выше), в сентябре температура воздуха также может достигать 25–30 °С. Надо отметить, что по данным сайта Gismeteo.ru, 2024 г. в Воронеже стал вторым самым теплым годом в истории метеонаблюдений (средняя температура составила +9,2 °С).

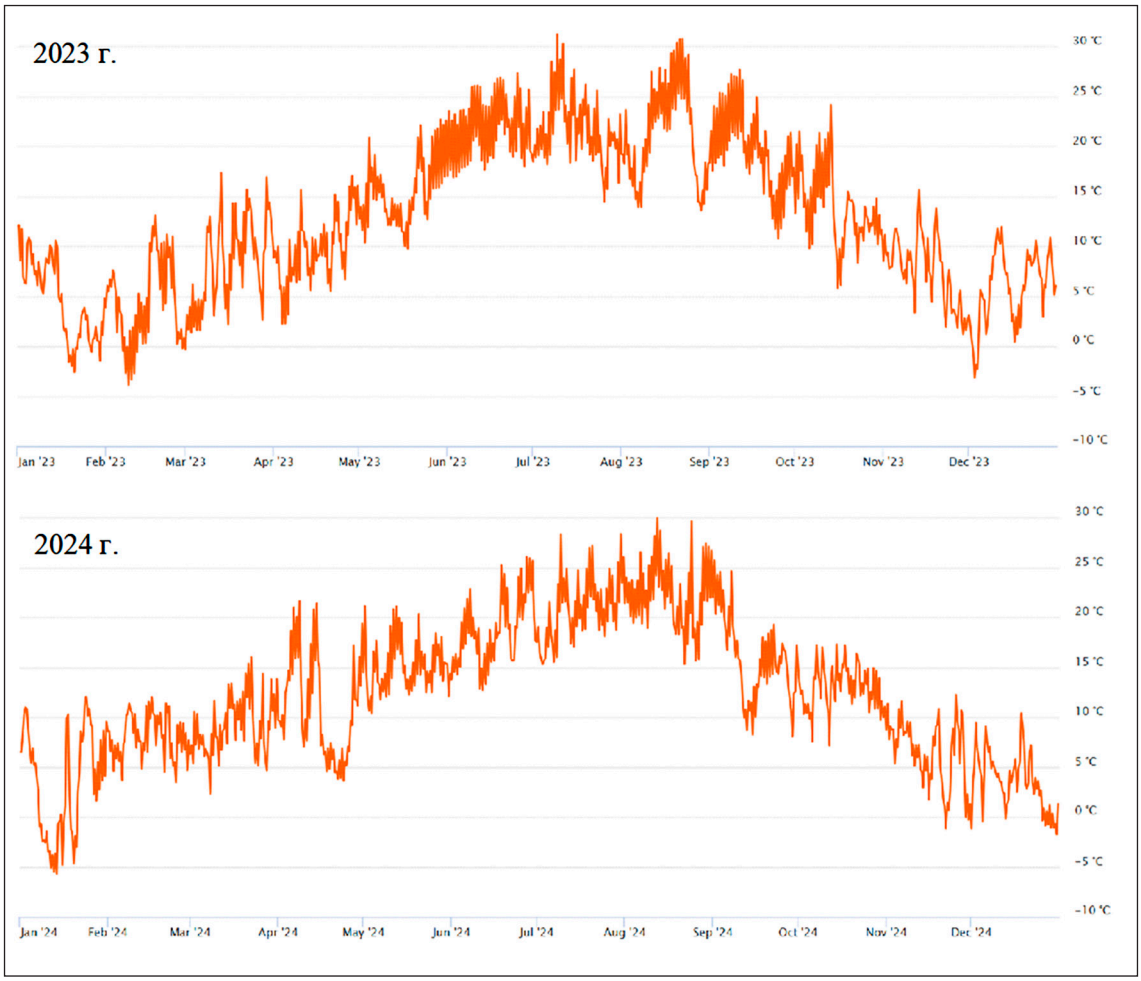


Рис. 4. Температурный режим (°C) в г. Воронеже
Источник: составлено авторами по данным сайтов MeteoCast и Meteoblue

Погода может быть и дождливой, и засушливой, что обусловлено формированием антициклона. Воронежа могут достигать жаркие воздушные массы из Казахстана и Северной Африки. В этом случае дневная температура может быть более +35°C. Температурный режим и количество осадков в городе за наблюдаемый период показаны на рис. 4 и 5.

Для оценки тесноты и направленности корреляционной связи между двумя признаками (концентрацией загрязнителя и метеопараметром) рассчитывали коэффициент ранговой корреляции Спирмена R_s:

$$R_s = 1 - \frac{6\left(\sum d_j^2\right)}{m\left(m^2 - 1\right)}, \qquad (2)$$

где d_j – разность между двумя рангами каждого наблюдения; m – количество наблюдений.

Статистическая значимость R_s оценивается по t-критерию Стьюдента. При уровне значимости p = 0,05 и количеству измерений в выборке m = 104 (~ каждый 7-й день в году) критическое значение коэффициента составляет 1,96. При использовании коэффициента ранговой корреляции условно оценивали силу связи между признаками, считая значения $R_s \geq 0{,}39$ показателями слабой тесноты связи; $0{,}50 < R_s < 0{,}80$ – средней; $R_s \geq 0{,}80$ – высокой.

На первом этапе рассчитывали степень опасности загрязнения атмосферы Q_n по шести приоритетным загрязнителям (1). Динамика степени опасности загрязнения атмосферного воздуха в пункте наблюдения на границе СЗЗ приведена на рис. 6.

Опасное загрязнение атмосферы за 2 года наблюдений не выявлено; на долю сильной степени загрязнения (ранг IV) приходится 23% случаев. Допустимый уровень

загрязнения (ранг I) зафиксирован в 8 случаях из 104; минимальная степень загрязнения Q_n = 1,4 (ноябрь, 2023 г.); максимальная Q_n = 6,6 (июнь, 2024 г.). Наиболее часто повторяющиеся значения степени опасности загрязнения воздуха принадлежат интервалу 3,48–5,55, что соответствует умеренному уровню загрязнения воздуха (ранг III). Функция распределения Q_n представлена на рис. 7.

Рассчитанные интегральные критерии оценки качества воздуха Q_n мало зависят от метеорологических условий, однако вклад индивидуальных загрязнителей в этот показатель подвержен значительным колебаниям в зависимости от сезона. Для учета вклада индивидуальных загрязняющих веществ в суммарный показатель и визуализации качества воздуха предложено использовать лепестковые диаграммы. На них по радиальным осям откладываются коэффициенты опасности загрязнителей $(K_{oi})^{1/2}$, а площадь самой диаграммы пропорциональна Q_n (1). В качестве примера на рис. 8 показано изменение качества воздуха, усредненное для различных месяцев года.

Из диаграмм следует, что суммарное загрязнение воздуха в летний месяц выше, чем в зимний. При этом значительно увеличивается вклад бутадиена и формальдегида; в меньшей степени – стирола, толуола, твердых частиц. Вклад оксида углерода в суммарный показатель качества воздуха в теплый месяц года снижается, что согласуется с известными данными [2; 7]. Вклад бутадиена в загрязнение воздуха на границе СЗЗ АО «Воронежсинтезкаучук» во все периоды года является наибольшим по сравнению с другими исследуемыми веществами.

Для определения влияния различных метеопараметров на поведение индивидуальных загрязнителей в воздухе рассчитывали коэффициенты корреляции Спирмена (2) между усредненными по дням концентрациями приоритетных загрязнителей и усредненными по дням параметрами, указанными на рис. 3–5. Результаты расчетов в табл. 2.

Рис. 5. Относительная влажность (% относит.) в г. Воронеже
Источник: составлено авторами по данным сайтов MeteoCast и Meteoblue

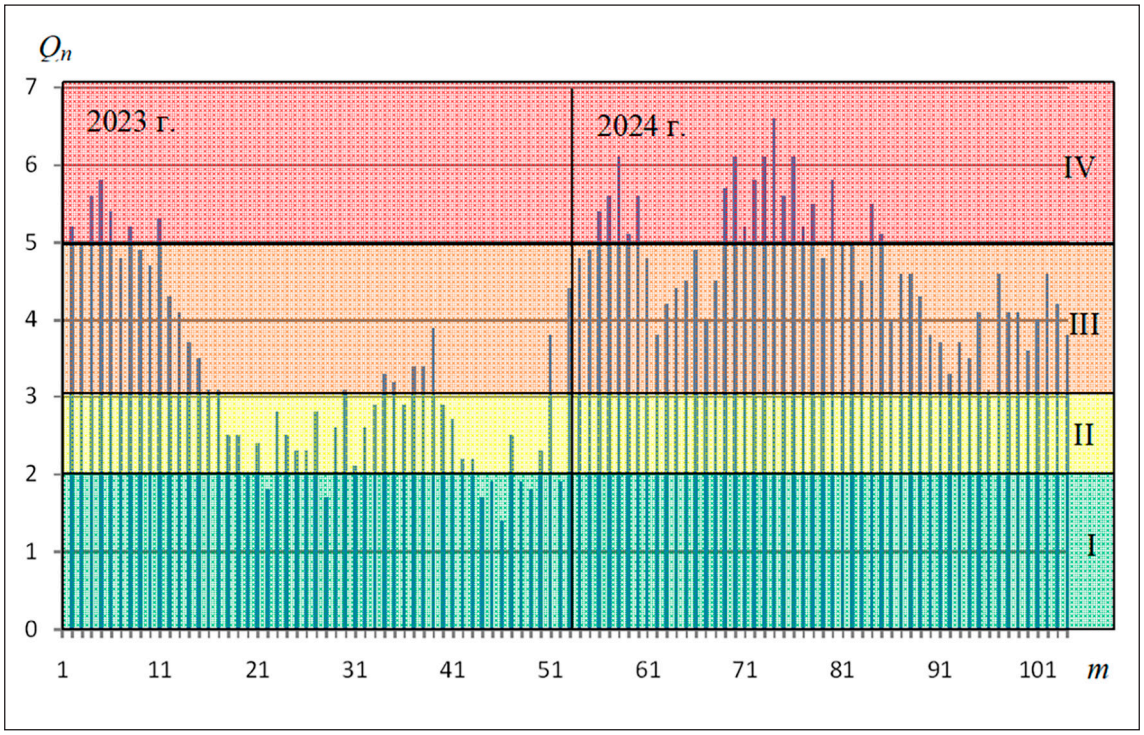


Рис. 6. Динамика степени опасности загрязнения атмосферного воздуха
Источник: составлено авторами на основании проведенных расчетов

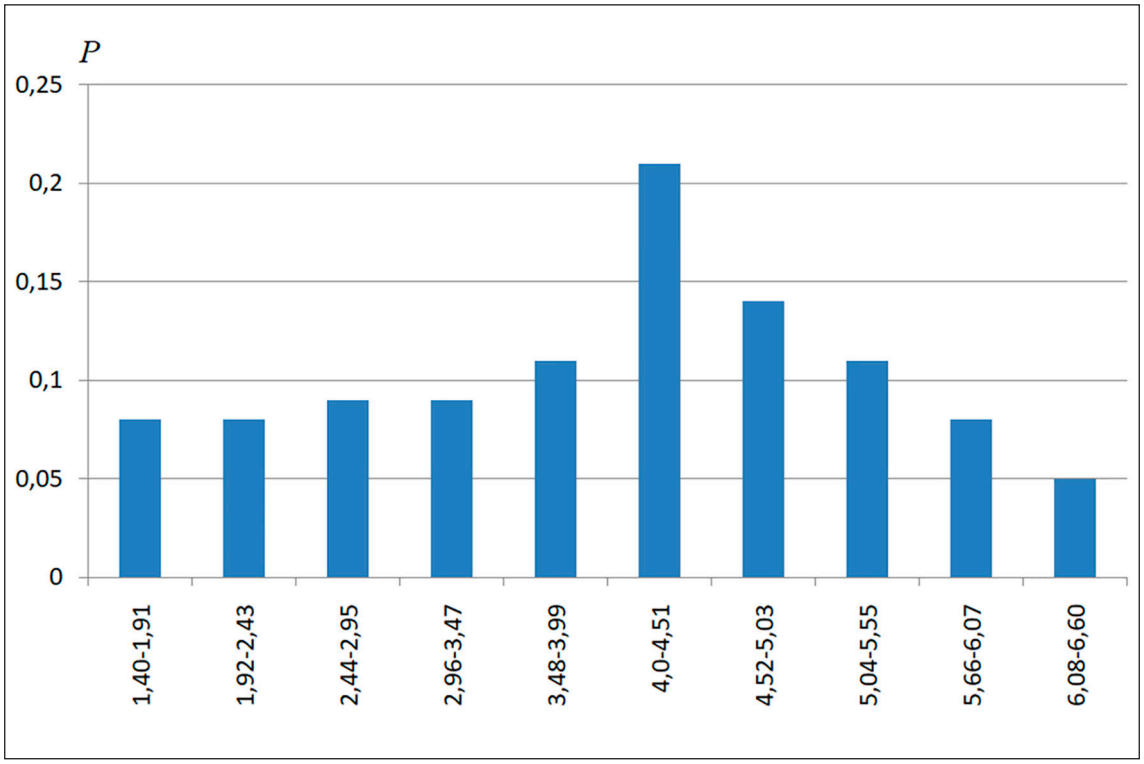


Рис. 7. Распределение степени опасности загрязнения атмосферного воздуха
Источник: составлено авторами на основании проведенных расчетов

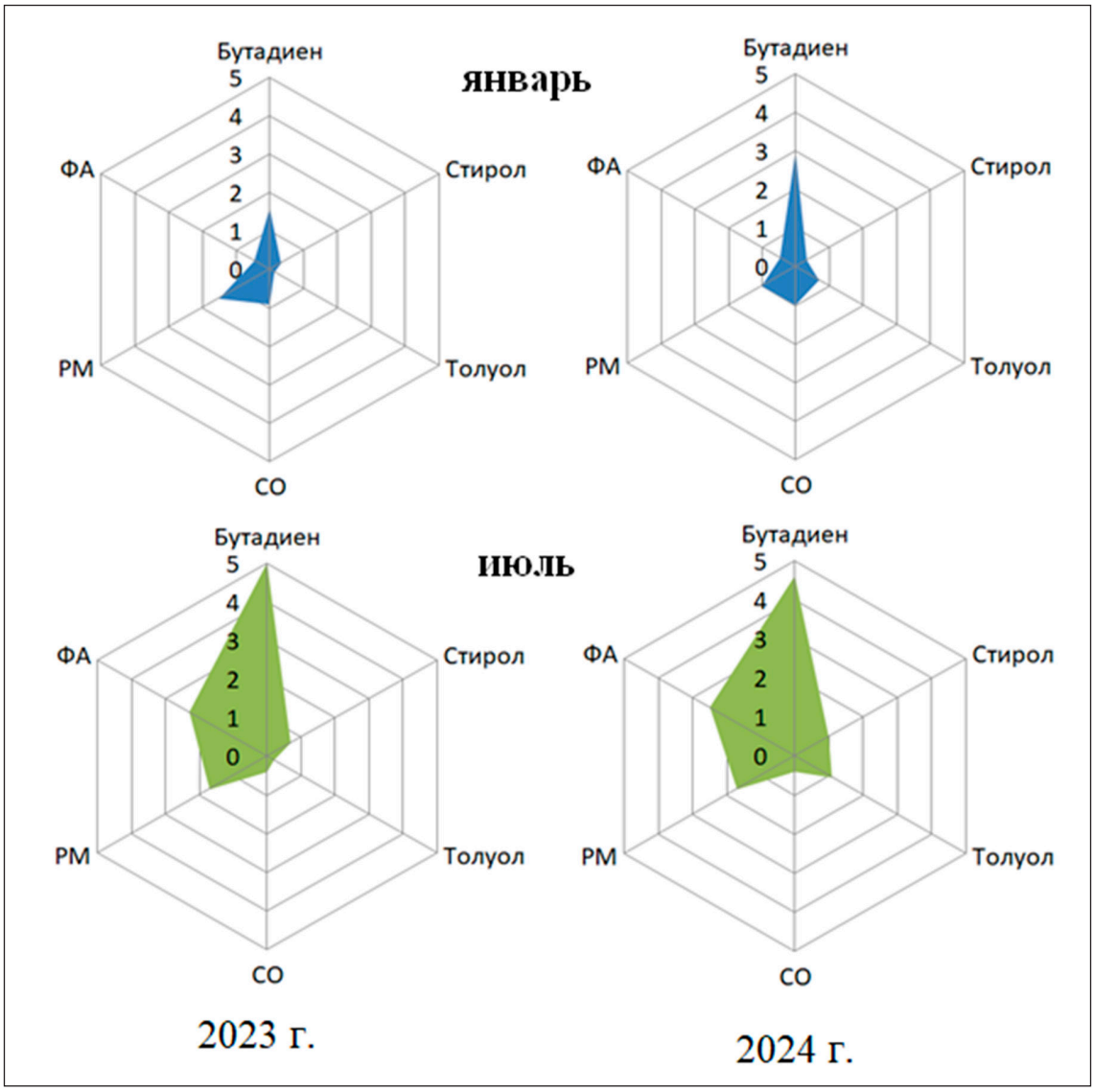


Рис. 8. Визуализация степени опасности загрязнения воздуха и вклада индивидуальных загрязнителей
Источник: составлено авторами на основании проведенных расчетов

Таблица 2

Теснота и направленность связи между концентрациями приоритетных загрязнителей воздуха и метеопараметрами (m = 104, p = 0,05)

Загрязнитель воздуха	Коэффициент корреляции Спирмена, R_s		
	Скорость ветра, м/с	Температура воздуха, °C	Влажность воздуха, % относит.
1,3-Бутадиен	–0,19	+0,56	+0,40
Стирол	–0,29	+0,40	+0,21
Толуол	–0,35	+0,34	+0,14
Оксид углерода	–0,32	–0,41	+0,28
PM	–0,29	–0,39	+0,31
Формальдегид	–0,34	+0,44	+0,44

Источник: составлено авторами на основании проведенных расчетов.

Значимой тесноты связи между содержанием загрязнителей воздуха и скоростью ветра не установлено. Это объясняется изменчивостью скорости воздуха в течение коротких промежутков времени и тем, что для расчетов использовали не одновременно измеренные сравниваемые параметры, а их усредненные за сутки значения. Однако наблюдается устойчивый тренд отрицательных значений R_s, то есть с увеличением скорости ветра концентрации всех компонентов уменьшаются.

Менее подвержена колебаниям среднесуточная температура воздуха. Слабая положительная теснота связи установлена между температурой и концентрациями стирола и формальдегида; связь средней силы – бутадиена. Отрицательная значимая сила связи характерна для оксида углерода и твердых частиц, что объясняется интенсивным выбросом этих компонентов в холодный период в связи с отопительным сезоном в городе и ростом фонового загрязнения воздуха.

Повышение влажности воздуха приводит, как правило, к повышению загрязнения воздуха индивидуальными веществами (для бутадиена, формальдегида $R_s > 0{,}39$). Влажность воздуха удерживает загрязнители вблизи земли, не давая им рассеяться в атмосфере. Это приводит к увеличению загрязнения приземного атмосферного слоя воздуха. При этом для оксида углерода и твердых частиц характерны обратные зависимости, что связано с сезонными колебаниями концентраций, описанными выше.

Заключение

Установлены приоритетные загрязнители атмосферного воздуха на границе СЗЗ предприятия I класса опасности, повторяемость превышения ПДК которых за 2 года наблюдений составила > 20 %. К ним относятся бутадиен, стирол, толуол, оксид углерода, PM, формальдегид. Рассчитана степень опасности загрязнения воздуха как сумма коэффициентов опасности приоритетных загрязнителей. На долю сильной степени загрязнения воздуха приходится 23 % случаев; в основном качество воздуха на границе СЗЗ с подветренной стороны предприятия характеризуется как умеренное.

Отмечается, что в теплые месяцы года качество воздуха хуже, чем в холодные, несмотря на снижение концентраций основных загрязнителей – CO и PM. Предложена визуализация качества воздуха в виде лепестковых диаграмм, отражающих вклад в интегральный показатель индивидуальных загрязнителей с учетом классов их опасности. Установлено, что в холодный период растут концентрации CO и PM, а в теплый – выше концентрации бутадиена, стирола и формальдегида.

Подтверждено влияние метеопараметров на концентрацию загрязнителей в приземном слое атмосферы. Установлены значимые положительные ранговые коэффициенты корреляции между температурой и концентрациями бутадиена, стирола, формальдегида; отрицательные – твердыми частицами и CO. Между влажностью воздуха и концентрациями бутадиена и формальдегида установлены положительные корреляционные зависимости слабой силы.

Список литературы

1. Канина А.Р. Влияние загрязненного воздуха на здоровье человека // The Scientific Heritage. 2021. № 78–2. С. 15–16. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-zagryaznennogo-vozduha-na-zdorovie-cheloveka (дата обращения: 17.06.2025).

2. Куролап С.А., Клепиков О.В., Кульнев В.В., Кизеев А.Н., Сюрин С.А., Енин А.В. Канцерогенный риск, связанный с загрязнением атмосферного воздуха промышленных городов Центрального Черноземья // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 8. С. 853–860. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-8-853-860.

3. Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Бакланов И.О., Маслова Н.В. Влияние загрязнения почв объектов авиационной и космической деятельности на здоровье человека // Экология промышленного производства. 2020. № 4 (112). С. 39–44. URL: http://izdat.ntckompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=158;ELEMENT_ID=20512&ELEMENT_ID=25720 (дата обращения: 17.06.2025).

4. Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Тимошинов О.В. Исследование загрязнения атмосферного воздуха, снежного покрова и поверхностных вод в экологически неблагоприятном районе Воронежа // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 158–163. URL: https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36623 (дата обращения: 17.06.2025).

5. Панарин В.М., Маслова А.А., Гришаков К.В. Обзор станций автоматического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 7. С. 69–75. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-7-69-75.

6. Бобылев С.Н., Соловьева С.В., Астапкович М. Качество воздуха как приоритет для новой экономики // Мир новой экономики. 2022. Т. 16. № 2. С. 76–88. DOI: 10.26794/2220-6469-2022-16-2-76-88.

7. Акимов Л.М., Акимов Е.Л. Сезонная динамика и пространственное распределение концентраций антропогенных загрязнителей в воздухе г. Воронеж // Региональные геосистемы. 2021. № 45 (4). С. 545–557. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-545-557.

8. Зуев Д.В., Кашкин В.Б., Симонов К.В. Использование спутниковых методов мониторинга для оценки экологического состояния северных территорий Красноярского края // Успехи современного естествознания. 2018. № 2. С. 86–92. URL: https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36677 (дата обращения: 17.06.2025).

9. Holloway T., Miller D., Anenberg S. et.al. Satellite Monitoring for Air Quality and Health // Annu Rev Biomed Data Sci. 2021. Jul 20. № 4. P. 417–447. DOI: 10.1146/annurev-biodatasci-110920-093120.

10. Май И.В., Балашов С.Ю. Научно-методическое обоснование программы производственного контроля качества атмосферного воздуха на границе единой санитарно-защитной зоны промышленного узла (опыт Пермского края) // Медицина труда и промышленная экология. 2013. № 11. С. 42–47. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-metodicheskoe-obosnovanie-programmy-proizvodstvennogo-kontrolya-kachestva-atmosfernogo-vozduha-na-granitse-edinoy-sanitarno (дата обращения: 17.06.2025).

11. Кочетова Ж.Ю., Маслова Н.В., Базарский О.В. Авиационно-ракетные кластеры и окружающая среда. Серия: Научная мысль. М.: Инфра-М, 2022. 266 с. ISBN 978-5-16-017033-6.

12. Куролап С.А., Прожорина Т.И., Клевцова М.А. Медико-экологический атлас города Воронежа. Русское географическое общество, Воронежский государственный университет, Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2019. 100 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.vsu.ru/ru/publishing/npvu/2019/201901/2019-01-02.pdf (дата обращения: 17.06.2025). ISBN 978-5-87456-883-2.

13. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания, 2021. URL: https://ds278-krasnoyarsk-r04.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/19/8/SP123685_21_0.pdf (дата обращения: 17.06.2025).

14. Показатели опасности веществ и материалов в 5 т. Справочник / Под общ. ред. В.К. Гусева. М.: Фонд им. И.Д. Сытина, 1999–2006. [Электронный ресурс]. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_000844346/ (дата обращения: 17.06.2025). ISBN 5-86863-102-1.

15. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 6 июня 2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».

16. Марцуль В.Н., Капориков В.П., Головач А.М. Экология и контроль состояния окружающей среды. Минск: БГТУ, 2009. 95 с. [Электронный ресурс]. URL: https://elib.belstu.by/handle/123456789/29160 (дата обращения: 17.06.2025). ISBN 978-985-434-911-4.

17. Назарчук О.В. Исследование процесса загрязнения атмосферы карьерного пространства от точечных стационарных источников в условиях температурной инверсии и штиля // Проблемы недропользования. 2021. № 4 (31). С. 97–104. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.097.

СТАТЬИ

УДК 556.551:502.5(571.13)
DOI 10.17513/use.38431

СОВРЕМЕННОЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ВОДОЕМОВ ГОРОДА ОМСКА

Королёв А.Н.

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, e-mail: korolev66.66@mail.ru

В статье приводится анализ результатов химического исследования воды расположенных на территории Омска городских водоемов. В городской среде роль водоемов многогранна: они выполняют как хозяйственные функции, так и природоохранные, эстетические и рекреационные. Поэтому контроль за качеством воды в них является частью мониторинга состояния окружающей среды. Целью исследования являлась оценка современного гидрохимического состояния природных и антропогенных водоемов на территории Кировского административного округа Омска. Исследуемые водоемы – это небольшие водные объекты как природного (озеро Кирпичка на территории Авиагородка, озера особо охраняемой природной территории «Птичья гавань», озёра на территории парков имени 300-летия г. Омска и 30-летия Победы), так и антропогенного происхождения (пруды: у пельменной фабрики, торгового центра «АТ-Маркет», в районе Новокировского кладбища и садового некоммерческого товарищества «Нефтехимик», поселка Солнечный). Отбор проб воды производился в июне-июле 2018 г. Водородный показатель (pH) воды в водоемах находится в пределах 7,16…7,82, что свидетельствует о нейтральной и близкой к нейтральной реакции среды. Среди катионов основными являются кальций и магний, а анионов – хлорид- и сульфат-ионы. Ионный состав водоемов в соответствии с классификацией Курлова позволяет отнести водоемы к гидрокарбонатному и хлоридному классам и трем группам. Вода в водоемах жёсткая и очень жесткая (7,4…47 мг·экв.); преобладающий тип жесткости – карбонатная. Минерализация находится в пределах 403,2…3174,9 мг/дм^3, что характерно для пресных и солоноватых вод различной степени солености. Перманганатная окисляемость вод (колеблется в пределах 3,09…19,57 мгО/дм^3), а также присутствие значительных количеств ионов аммония в большинстве водоемов (озера парковых территорий им. 300-летия Омска, им. 30-летия Победы, пруды около пельменной фабрики и Новокировского кладбища), свидетельствуют о загрязнении водоемов легко окисляемыми органическими и неорганическими веществами.

Ключевые слова: гидрохимия городских водоемов, Омск, минерализация, жесткость воды, класс воды

CURRENT HYDROCHEMICAL STATE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC WATER BODIES IN OMSK

Korolev A.N.

The Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, e-mail: korolev66.66@mail.ru

The article provides an analysis of the results of a chemical study of water in urban reservoirs located on the territory of Omsk. In the urban environment, the role of reservoirs is multifaceted; they perform both economic, environmental, aesthetic and recreational functions. Therefore, water quality control in them is part of environmental monitoring. The purpose of the study was to assess the current hydrochemical state of natural and anthropogenic reservoirs in the Kirov Administrative District of Omsk. The reservoirs under study are small water bodies of both natural (Lake Kirpichka on the territory of Aviagorodok, lakes of the specially protected natural territory "Bird Harbor", lakes on the territory of parks named after the 300th anniversary of Omsk and the 30th anniversary of Victory) and anthropogenic origin (ponds: at the dumpling factory, AT-Market shopping center, the area of the Novokovsky cemetery and the Neftekhimik garden non-profit partnership, the village of Solnechny). Water sampling was carried out in June-July 2018. The hydrogen index (pH) of water in reservoirs is in the range of 7.16...7.82, which indicates a neutral and close to neutral reaction of the medium. Among the cations, the main ones are calcium and magnesium, and the anions are chloride and sulfate ions. The ionic composition of reservoirs in accordance with the Kurlov classification makes it possible to classify reservoirs into bicarbonate and chloride classes and three groups. The water in reservoirs is hard and very hard (7.4...47 mg/eq); the predominant type of hardness is carbonate. Mineralization ranges from 403.2...3174.9 mg/dm^3, which is typical for fresh and brackish waters of varying degrees of salinity. The permanganate oxidizability of waters (ranges from 3.09...19.57 mgO/dm^3), as well as the presence of significant amounts of ammonium ions in most reservoirs (lakes of the park territories named after the 300th anniversary of Omsk, named after the 30th anniversary of Victory, ponds near the pelmeni factory and the Novokovsky cemetery), indicate contamination of reservoirs with easily oxidizable organic and inorganic substances.

Keywords: hydrochemistry of urban water bodies, Omsk, salinity, water hardness, water class

Введение

Городские водоемы имеют огромное значение. Они влияют на микроклимат, поддерживают уровень грунтовых вод и биоразнообразие. Их роль не ограничивается хозяйственными нуждами: они также важны для сохранения природы, эстетики города и организации досуга [1]. В связи с угрозой

загрязнения мониторинг качества воды становится критически важным. Озера и пруды, в отличие от рек, характеризуются медленным водообменом, что приводит к существенным различиям в их химическом составе, даже если они находятся в схожих климатических и геологических условиях. Омская область относится к бассейну р. Иртыш. На территории области более 4 тыс. рек и 16 тыс. озер. Некоторые из них считаются памятниками природы, среди них реликтовые озера с лечебными грязями[1],[2]. За последние пять лет в реках Омска и его окрестностей наблюдается существенное снижение химического загрязнения. Проверки Министерства природных ресурсов и экологии Омской области показывают, что за последние пять лет по сравнению с предыдущими годами показатели уровня загрязнения воды рек Иртыш и Омь, а также малых рек омского Прииртышья вредными веществами значительно снизились. Это отражено в соответствующих докладах об экологической ситуации в Омской области за 2022-2023 гг. и публикациях ряда авторов [2; 3]. Но данных по содержанию различных загрязнителей в малых городских водоемах нет.

Экологическое состояние природных водоисточников Омской области является предметом исследований таких авторов, как Н.Н. Барсукова и соавт., Н.Н. Жаркова и соавт., Ю.А. Новикова и соавт. [4-6]. Но в бóльшей степени они посвящены исследованиям рек. Изучению отдельных водоемов на территории области посвящены работы Н.М. Невенчанной и соавт. [7-9]. Исследования гидрохимических показателей малых водоемов непосредственно в Омске проводятся редко, и информация по ним доступна лишь в ограниченном числе публикаций [10; 11].

В пределах Кировского административного округа (КАО) Омска расположено более двадцати водоемов различного происхождения – как естественного, так и антропогенного. Часть этих водоемов активно используется для отдыха и имеет статус особо охраняемых природных территорий (ООПТ), в то время как другие водоемы в настоящее время не задействованы, но могут быть освоены для рекреационных целей в перспективе.

Цель исследования – гидрохимическая характеристика природных и антропогенных водоемов КАО города Омска с целью оценки их современного состояния.

Материал и методы исследования

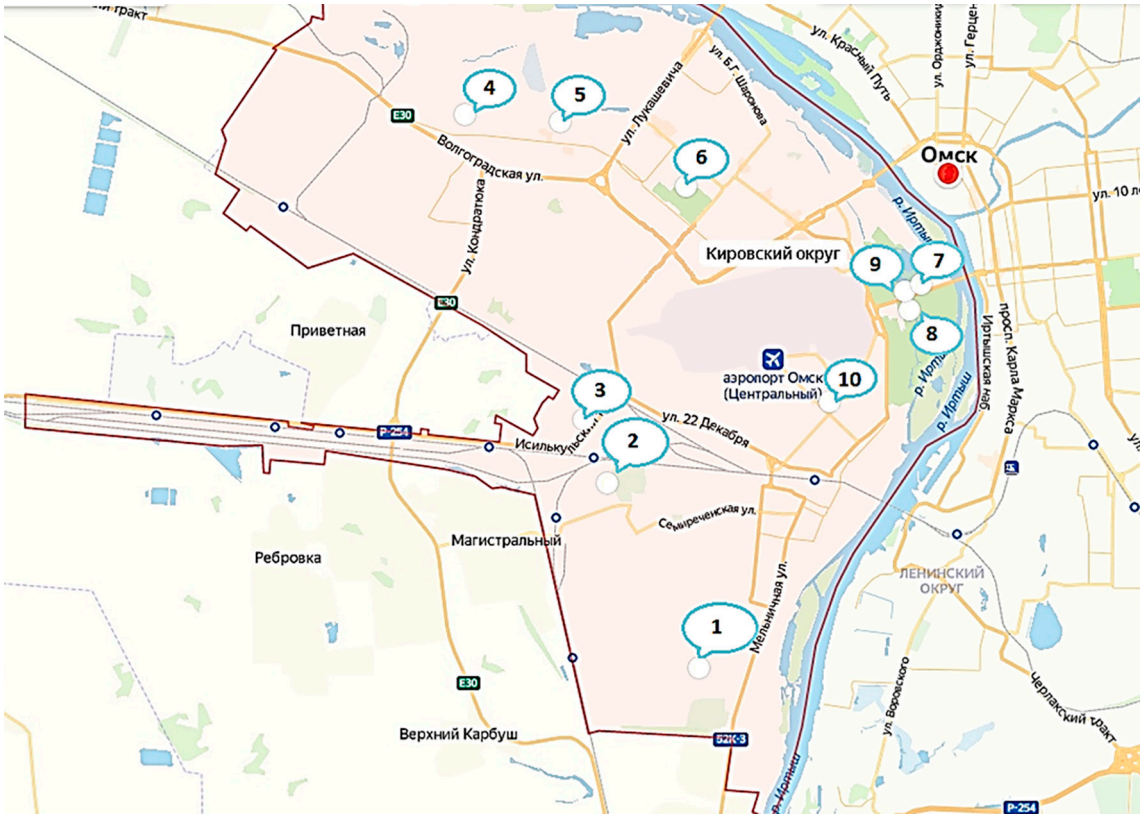
Отбор проб воды из 10 водоемов на территории КАО г. Омска (рисунок) проводился в июне-июле 2018 г. однократно согласно ГОСТ 17.1.5.04-81 (актуализ. 01.07.2023) [12]. Из каждого водоема было взято по 5 проб воды в пластиковые бутылки. Перед использованием бутылки тщательно промывали: сначала мыльной водой, затем 10-20 раз обычной водой и трижды дистиллированной. Непосредственно перед отбором пробы бутылки ополаскивали 2-3 раза водой из исследуемого озера. Физико-химические анализы воды были проведены в аккредитованных лабораториях (Испытательная лаборатория (центр) ООО «МИ-Транс»; Центральная учебно-научная лаборатория аграрно-технологических исследований ФГБОУ ВО «Омский ГАУ») по общепринятым методикам (РД 52.24.377-95, ГОСТ Р 52407-2005, ПНД Ф серии 14.1:2:4), результаты сравнивались с ПДК [13]. Проведенное исследование предоставило возможность для первоначального анализа текущего состояния водных объектов города, в частности по показателям содержания в них отдельных химических элементов.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследуемые водоемы – это небольшие водные объекты как природного (оз. Кирпичка на территории Авиагородка, озера ООПТ «Птичья гавань», озера на территории парков им. 300-летия г. Омска и 30-летия Победы), так и антропогенного происхождения (пруды: у пельменной фабрики, торгового центра «АТ-Маркет», района Новокировского кладбища и садового некоммерческого товарищества (СНТ) «Нефтехимик», пос. Солнечный). Как правило – это небольшие водоемы площадью водного зеркала от 2,4 до 147 тыс. м^2 (0,24-14,7 га). Характер питания смешанный и представлен как талыми водами и атмосферными осадками, так и за счет грунтовых вод. Наличие воды в водоемах круглый год обеспечено особенностями геологического строения территории их расположения. Толстые слои водоупорных глин предотвращают фильтрацию воды в нижние слои.

[1] Омская область. Природа родного края. URL: https://sites.google.com/view/omskaia/ (дата обращения: 15.05.2025).

[2] Характеристика состояния водных объектов Омской области (обновлено 06.08.2018). Сайт Омского филиала Федерального бюджетного учреждения «Территориальный фонд геологической информации по Сибирскому федеральному округу». URL: https://omsktfi.ru/?option=com_content&view=article&id=55&catid=102&Itemid=351 (дата обращения: 15.05.2025).



Локализация исследуемых водоемов на территории Кировского АО г. Омска: 1 – пруд в районе Новокировского кладбища; 2 – пруд у пельменной фабрики; 3 – пруд на территории СНТ «Нефтехимик»; 4 – пруд территории пос. Солнечный; 5 – пруд около ТЦ «АТ-Маркет»; 6 – оз. территории парка им. 300-летия г. Омска; 7, 9 – озёра территории ООПТ «Птичья гавань» (восточное и западное); 8 – оз. территории парка им. 30-летия Победы; 10 – оз. Кирпичка на территории Авиагородка
Примечание: составлено автором с использованием:
URL: https://2gis.ru/omsk?m=73.272367%2C54.945991%2F12.41

Большинство из исследуемых водоемов в настоящее время имеет природоохранное либо рекреационное назначение; используется населением для отдыха. При оценке экологического состояния прибрежных областей исследуемых водоемов установлено, что берега и прибрежные земельные участки вокруг большинства водоемов имеют антропогенное загрязнение (в основном бытовой мусор, представленный ПЭТ-пакетами и бутылками, металлическая тара, бумага, строительные материалы). Краткая характеристика водоемов на территории КАО г. Омска приведена в таблице 1.

Химический анализ показал, что вода в водоемах имеет нейтральную или слабощелочную реакцию, с показателем pH в пределах 7,16…7,82. Преобладающими катионами являются кальций и магний (табл. 2), а анионами – хлорид- и сульфат-ионы (табл. 3). При этом значительные концентрации ионов Mg^{2+} (≥2ПДК) обнаружены в водоемах Новокировского кладбища, торгового центра «АТ-Маркет» и парка им. 30-летия Победы. Более чем 1,5 ПДК для ионов Ca^{2+} обнаружено в водоемах в районе ТЦ «АТ-Маркет» и парка им. 30-летия Победы (400 и 316 мг/дм^3 соответственно).

Присутствие значительных количеств ионов аммония (NH_4^+) в воде некоторых водоемов (озера парковых территорий им. 300-летия Омска, им. 30-летия Победы, пруды около пельменной фабрики и Новокировского кладбища) является показателем биологического загрязнения и свидетельствует о попадании либо фекальных стоков, либо органических загрязнений.

В водоемах в районе ТЦ «АТ-Маркет» и парка им. 30-летия Победы содержание анионов Cl^- и SO_4^{2-} значительно превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов: 462 и 1134 мг/дм^3 соответственно для сульфат-ионов и 764,7 и 888,9 мг/дм^3 соответственно для хлорид-ионов (табл. 3).

Таблица 1

Характеристика водоемов Кировского административного округа г. Омска

Расположение водоема	S, тыс. м²/га	Характер питания	Назначение	Характер загрязнения
Р-н пельменной фабрики	22,156 / 2,22	смешан.	не установлено	антропогенный
Р-н Новокировского кладбища	6,551 / 0,655	смешан.	не установлено	антропогенный
Дачный кооператив «Нефтехимик»	12,285 / 1,23	смешан.	рекреационное	антропогенный
Пос. Солнечный	2,404 / 0,24	смешан.	рекреационное	антропогенный
Р-н ТЦ «АТ-Маркет»	5,721 / 0,572	смешан.	рекреационное	антропогенный
Парк им. 300-летия Омска	5,461 / 0,546	смешан.	рекреационное	антропогенный
ООПТ «Птичья гавань» (восточный водоём)	71,454 / 7,15	смешан.	природоохранное, рекреационное	не установлено
Парк им. 30-летия Победы	60,246 / 6,03	смешан.	рекреационное	не установлено
ООПТ «Птичья гавань» (западный водоём)	147,655 / 14,77	смешан.	природоохранное, рекреационное	не установлено
Оз. Кирпичка, территория Авиагородка	20,086 / 2,01	смешан.	рекреационное	антропогенный

Примечание: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования и на основе источников: URL: https://2gis.ru/omsk?m=73.272367%2C54.945991%2F12.41, [11].

Таблица 2

Содержание основных катионов в водоёмах Кировского АО г. Омска, мг/дм³

Расположение водоема	$Na^+ + K^+$	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Fe^{2+}	Fe^{3+}	NH_4^+
Пруд района пельменной фабрики	0,35	92,4	136	не обнар.	не обнар.	0,58
Пруд района Новокировского кладбища	171,9	284,5	192	не обнар.	не обнар.	0,58
Пруд СНТ «Нефтехимик»	0,05	55,9	80	не обнар.	не обнар.	0,01
Пруд пос. Солнечный	11,6	75,4	140	не обнар.	не обнар.	0,26
Пруд района ТЦ «АТ-Маркет»	4,62	209,2	400	не обнар.	не обнар.	не обнар.
Оз. парка им. 300-летия Омска	0,37	55,9	56	не обнар.	не обнар.	1,18
Оз. ООПТ «Птичья гавань» (восточный водоём)	0,3	109,4	176	не обнар.	не обнар.	0,02
Оз. парка им. 30-летия Победы	368,4	277,3	316	не обнар.	не обнар.	1,18
Оз. ООПТ «Птичья гавань» (западный водоём)	4,28	97,3	164	0,06	0,02	0,38
Оз. Кирпичка, территория Авиагородка	0,16	128,9	152	не обнар.	не обнар.	0,26
*$ПДК_{ХП}$	Na^+ 200 K^+ 180	100	200	0,3		1,5
$ПДК_{КБ}$						
$ПДК_{РХ}$	Na^+ 120 K^+ 50			0,1		0,5

Примечание: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования.

* Здесь и в таблицах 3, 5: $ПДК_{ХП}$ – хозяйственно-питьевое водопользование; $ПДК_{КБ}$ – культурно-бытовое водопользование; $ПДК_{РХ}$ – рыбохозяйтвенные водоемы по СанПиН 1.2.3685-21 [13].

Таблица 3

Анионный состав водоёмов Кировского АО города Омска, мг/дм^3

Расположение водоема	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	NO_2^-
Пруд района пельменной фабрики	не обнар.	190,4	176,1	296	12,4	не обнар.
Пруд района Новокировского кладбища	не обнар.	556,5	764,7	462	13,6	0,02
Пруд СНТ «Нефтехимик»	не обнар.	156,2	96,6	153	8,4	не обнар.
Пруд пос. Солнечный	не обнар.	332	136,7	199	17,4	не обнар.
Пруд р-на ТЦ «АТ-Маркет»	не обнар.	449,1	378,8	918	15,2	0,02
Оз. парка им. 300-летия Омска	не обнар.	136,7	88,4	129	4	0,01
Оз. ООПТ «Птичья гавань» (восточный водоём)	не обнар.	234,3	155,5	454	8,4	не обнар.
Оз. парка им. 30-летия Победы	не обнар.	356,4	888,9	1134	11	0,01
Оз. ООПТ «Птичья гавань» (западный водоём)	не обнар.	229,4	147	404	5,8	0,01
Оз. Кирпичка, тер. Авиагородка	не обнар.	317,3	186,7	364	11	0,01
*$ПДК_{ХП}$	100	1000	350	500	45	3,3
$ПДК_{КБ}$						
$ПДК_{РХ}$			300	100	9	0,2

Таблица 4

Химическая классификация вод Кировского АО города Омска

Расположение водоема	Класс и группа воды
Пруд района пельменной фабрики	гидрокарбонатный класс натриевая группа
Пруд района Новокировского кладбища	
Пруд СНТ «Нефтехимик»	
Озера ООПТ «Птичья гавань» (восточный и западный водоемы)	
Оз. Кирпичка, тер. Авиагородка	
Пруд района ТЦ «АТ-Маркет»	
Оз. парка им. 300-летия Омска	
Оз. парка им. 30-летия Победы	гидрокарбонатный класс кальциевая группа
Пруд пос. Солнечный	хлоридный класс натриевая группа

Примечание: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования и на основе источника [11].

В соответствии с классификацией О.А. Алекина [14] все исследуемые водоемы относятся к двум основным классам (гидрокарбонатный и хлоридный) и трем группам (табл. 4). В большинстве водоемов вода гидрокарбонатного класса; исключение составляет вода в оз. Кирпичка (относится к хлоридному классу). Данная особенность обусловлена тем, что подстилающие горные породы на территории г. Омска в основном представлены переуплотненными глинами и алевритами, обогащенными карбонатами и гидрокарбонатами [15]. Анализ химического состава показал, что, несмотря на близкое географическое расположение, водоемы ООПТ «Птичья гавань» и парка им. 30-летия Победы демонстрируют различия в содержании суммы ионов Na+K и Ca. Данное обстоятельство обусловило их отнесение к различным классификационным группам.

Исследование показало, что минерализация вод в водоемах колеблется в пределах от 403,2 до 3174,9 мг/дм^3. Наиболее высокая концентрация растворенных солей наблюдается в водоеме, расположенном на территории парка им. 30-летия Победы, где этот показатель достигает 3174,9 мг/дм^3.

Таблица 5

Химические показатели водоемов территории Кировского АО г. Омска

Расположение водоема	pH	Сухой остаток, мг/дм³	Окисляемость перманганатная, мгО/дм³	Жесткость, мг-экв.	
				общая	карбонатная
Пруд района пельменной фабрики	7,23	809	10,3	14,4	3,12
Пруд района Новокировского кладбища	7,62	2167,5	19,57	33	9,12
Пруд СНТ «Нефтехимик»	7,19	472,1	3,09	8,6	2,56
Пруд пос. Солнечный	7,38	746,2	3,09	13,2	5,44
Пруд района ТЦ «АТ-Маркет»	7,81	2150,3	6,18	47	7,36
Оз. парка им. 300-летия Омска	7,16	403,2	7,21	7,4	2,24
Оз. ООПТ «Птичья гавань» (восточный водоём)	7,34	1020,8	7,21	17,8	3,84
Оз. парка им. 30-летия Победы	7,82	3174,9	18,54	38,6	5,84
Оз. ООПТ «Птичья гавань» (западный водоём)	7,64	937,5	5,15	16,2	3,76
Оз. Кирпичка, территория Авиагородка	7,63	1001,7	7,21	18,2	5,2
*$ПДК_{хп}$	6,8-8,3	1000-1500	5	7	
$ПДК_{кб}$			30	10	
$ПДК_{рх}$	6,5-8,5				

Примечание: составлено автором на основе полученных данных в ходе исследования и с использованием источников [11; 13].

Напротив, наименьшая минерализация (403,2 мг/дм³) характерна для водоема в парке им. 300-летия г. Омска. Анализ суммарного содержания солей позволяет отнести воду в водоемах, находящихся в районе пельменной фабрики, СНТ «Нефтехимик», пос. Солнечный, парка им. 300-летия Омска и оз. Кирпичка (территория Авиагородка), к категории пресных. Вода же в остальных водоемах является соленой, причем степень солености варьируется (табл. 5).

Анализ перманганатной окисляемости показал, что содержание окисляемых веществ в воде исследуемых водоемов находится в пределах от 3,09 до 19,57 мгО/дм³. Минимальные значения этого показателя, равные 3,09 мгО/дм³, наблюдаются в водоемах, расположенных в районе СНТ «Нефтехимик» и пос. Солнечный. Напротив, максимальная перманганатная окисляемость, достигающая 19,57 мгО/дм³, зафиксирована в водоеме у Новокировского кладбища. Подобный уровень окисляемости указывает на загрязнение воды легкоокисляемыми органическими веществами (например, нефтепродуктами, фенолами, пестицидами) или неорганическими соединениями (нитритами, сероводородом), что ограничивает ее использование исключительно культурно-бытовыми нуждами.

Химический состав природной воды характеризуется жесткостью, которая напрямую зависит от концентрации ионов кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}). Результаты исследований выявили, что вода в водоемах, находящихся в пределах СНТ «Нефтехимик» и парка им. 300-летия Омска, обладает высокой жесткостью, а в остальных водоемах – очень высокой. Карбонатная жесткость преобладает (табл. 5).

Несмотря на то, что эти водоемы пользуются большим спросом у населения, их научное исследование остается недостаточным. Это затрудняет формирование точных выводов об их экологическом благополучии и оценку безопасности для рекреационного использования. Поэтому крайне важно наладить экологический мониторинг с расширенным набором химических анализов.

Выводы

1. Водородный показатель (pH) воды в исследуемых водоемах на территории

Кировского АО г. Омска находится в пределах 7,16…7,82, что свидетельствует о нейтральной и близкой к нейтральной реакции среды.

2. Ионный состав водоемов в соответствии с классификацией Курлова позволяет отнести водоемы к гидрокарбонатному и хлоридному классам и трем группам. Среди катионов основными являются кальций и магний, а анионов – хлорид- и сульфат-ионы.

3. Вода в водоемах жёсткая и очень жесткая (7,4…47 мг·экв.); преобладающий тип жесткости – карбонатная. Минерализация находится в пределах 403,2…3174,9 мг/дм^3, что характерно для пресных и солоноватых вод различной степени солености.

4. Перманганатная окисляемость вод (колеблется в пределах 3,09…19,57 мгО/дм^3), а также присутствие значительного количества ионов аммония в большинстве водоемов (озера парковых территорий им. 300-летия Омска, им. 30-летия Победы, пруды около пельменной фабрики и Новокировского кладбища) свидетельствуют о загрязнении водоемов легко окисляемыми органическими и неорганическими веществами.

Экологическое состояние воды малых водоемов КАО Омска по физико-химическим показателям можно считать удовлетворительным. Однако необходимы исследования на содержание тяжелых металлов и мышьяка – потенциальных источников опасности для человека, флоры и фауны городских водоемов.

Список литературы

1. Макаренко Е.П. Рекреационно-экологическая оценка водных объектов (на примере Томского района) // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 375. С. 179–182. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rekreatsionno-ekologicheskaya-otsenka-vodnyh-obektov-na-primere-tomskogo-rayona (дата обращения: 25.02.2025).

2. Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Винокуров Ю.И., Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Котовщиков А.В., Краснояров Б.А., Рыбкина И.Д., Дьяченко А.В. Современное состояние и экологические проблемы Обь-Иртышского бассейна // Водное хозяйство России. 2017. № 6. С. 106–118. URL: https://www.researchgate.net/publication/322077395_ Current_State_and_Ecological_Problems_of_the_Ob-Irtysh_Basin (дата обращения: 11.04.2025).

3. Чистякова Н.Ф., Кочуров Б.И., Овчинникова А.В. Качество вод реки Иртыш в условиях трансграничного водопользования // Проблемы региональной экологии. 2022. № 6. С. 60-67. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-6-60-67. EDN: OFTCOR.

4. Барсукова Н.Н., Баженова О.П., Коржова Л.В. Предварительная характеристика качества воды малых рек лесной зоны Омского Прииртышья // Принципы экологии. 2024. № 1. С. 49–60. DOI: 10.15393/j1.art.2024.14622. (дата обращения: 02.05.2025).

5. Жаркова Н.Н., Баженова О.П., Гаврильченко О.Л., Болтовская А.С. Сезонная динамика химического состава воды реки Иртыш на территории Омской области // Водные биоресурсы и среда обитания. 2024. Т. 7. № 2. С. 7–20. DOI: 10.47921/2619-1024_2024_7_2_7. EDN: AIJEKV.

6. Новикова Ю.А., Тихонова Н.А., Мясников И.О., Овчинникова Е.Л., Колчин А.С., Черкашина М.Н., Винокурова И.Г. Интегральная оценка качества питьевой воды Омской области // Гигиена и санитария. 2022. № 8. Т. 101. С. 861–865. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-8-861-865.

7. Невенчанная Н.М., Башкатова Л.Н. Характеристика химического состава вод озер и почв Камышловского лога Омской области // Агрофизика. 2021. № 2. С. 24-31.

8. Невенчанная Н.М., Башкатова Л.Н. Динамика солевого состава озер Камышловского лога Омской области и их влияние на почвенный покров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4. С. 48–54. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-solevogo-sostava-ozer-kamyshlovskogo-loga-omskoy-oblasti-i-ih-vliyanie-na-pochvennyy-pokrov (дата обращения: 15.03.2025).

9. Невенчанная Н.М., Шаяхметов М.Р., Шойкин О.Д. Особенности химического состава воды озера Эбейты Омской области и характеристика почвенного покрова // Овощи России. 2024. № 6. С. 137–143. DOI: 10.18619/2072-9146-2024-6-137-143.

10. Королев А.Н., Данцигер А.А. Экологическая оценка современного состояния водоемов Советского Административного округа города Омска по гидрохимическим показателям // Научное обозрение. Биологические науки. 2022. № 4. С. 44–49. DOI: 10.17513/srbs.1293.

11. Королёв А.Н., Дорошев Е.М. Гидрохимические показатели малых озер территории Кировского АО города Омска // Экологические чтения – 2019, 5 июня 2019 года: материалы X Национальной научно-практической конференции (с международным участием), посвящается 25-летию Омского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина в статусе университета (5 июня 2019 г.). 2019. С. 164-169. ISBN: 978-5-89764-830-6. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41133984 (дата обращения: 10.02.2025).

12. ГОСТ 17.1.5.04-81. Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 6 с.

13. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Постановление Главного государственного санитарного врача России от 28.01.2021. URL: https://www.law.ru/npd/doc/docid/486051/modid/97 (дата обращения: 07.04.2025).

14. Алекин О.А. Основы гидрохимии: монография. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1970. 446 с. URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=477727 (дата обращения: 10.04.2025).

15. Мельников А.Л., Рейнгард Я.Р. Экология почв территории города Омска: монография. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2006. 142 с. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=19510152 (дата обращения: 07.04.2025).

УДК 662.7:544.723
DOI 10.17513/use.38432

РОЛЬ СОРБЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПЕРЕРАБОТКЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Малышев Е.О., Белова Т.П., Хижко З.И.

Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: egormalyshev1900@bk.ru

Высокий спрос на золото в промышленности заставляет искать альтернативные источники извлечения данного металла. Целью настоящей работы является обзор сорбционных методов, применяемых при переработке золотосодержащих руд и при хранении хвостов обогащения. Проведен анализ русскоязычных и англоязычных научных публикаций, вышедших с 2010 г. по настоящее время, по теме сорбции мелкого и тонкого золота. Исследование охватило материалы различных издательств: «Горная книга», Elsevier, Издательский дом «Академия Естествознания», Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry. Также рассмотрены доклады российских научных конференций и документация запатентованных технологий. Из более 70 изученных источников для детального анализа было отобрано 25 наиболее релевантных работ как на русском, так и на английском языках. Так как для извлечения мелкодисперсного золота из промышленного продукта методы гравитационного и флотационного обогащения малоэффективны, вместо этого часто применяется метод цианирования с последующей сорбцией золота, чтобы повысить эффективность процесса. На основании выполненного литературного обзора и собственных исследований установлено, что в настоящее время ведутся работы по разработке следующих видов сорбентов: ионообменные смолы, активные угли, природные органические и природные минеральные сорбенты. Для улучшения сорбционных свойств и адаптирования сорбционных материалов к растворам различного состава применяют физико-химическую модификацию существующих сорбционных материалов. Сделан вывод о целесообразности дальнейшего изучения вопроса сорбции золота и создания новых технологий, чтобы сделать процесс извлечения золота более эффективным.

Ключевые слова: сорбция, цианирование, золото, сорбент, извлечение, выщелачивание, сорбционная емкость, смолы, цеолиты

THE ROLE OF SORPTION TECHNOLOGIES IN THE PROCESSING OF GOLD-BEARING MINERAL RAW MATERIALS

Malyshev E.O., Belova T.P., Khizhko Z.I.

Research Geotechnological Center Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: egormalyshev1900@bk.ru

High demand for gold in industry is driving the search for alternative sources of extraction of this metal. The aim of this work is to review sorption methods used in the processing of gold-bearing ores and in the storage of tailings. An analysis of Russian- and English-language scientific publications on the sorption of fine and thin gold published from 2010 to the present has been conducted. The study covered materials from various publishers: Gornyaya Kniga, Elsevier, Publishing House “Academy of Natural Sciences,” Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry. Reports from Russian scientific conferences and documentation of patented technologies were also reviewed. From more than 70 sources studied, 25 of the most relevant works in both Russian and English were selected for detailed analysis. Since gravity and flotation methods are not very effective for extracting fine-grained gold from industrial products, cyanidation followed by gold sorption is often used instead to increase the efficiency of the process. Based on a review of the literature and our own research, it has been established that work is currently underway to develop the following types of sorbents: ion exchange resins, activated carbons, natural organic and natural mineral sorbents. To improve the sorption properties and adapt sorption materials to solutions of various compositions, physicochemical modification of existing sorption materials is used. It has been concluded that it is advisable to further study the issue of gold sorption and create new technologies to make the gold extraction process more efficient.

Keywords: sorption, cyanidation, gold, sorbent, extraction, leaching, sorption tank, resins, zeolites

Введение

Золото имеет огромный спрос в современном мире: ювелирные изделия, инвестиции и финансы, медицина, космическая отрасль, электроника. В условиях стремительного развития технологий и расширения производственных мощностей спрос на золото постоянно растет. В настоящее время около трети всего добываемого золота приходится на переработку отходов производства. Эффективность использования гидрометаллургических методов извлечения мелкого и тонкодисперсного золота из промпродукта и лежалых хвостов широко обсуждается в научной литературе [1]. Одной из основных технологий данного метода является цианирование. Известно, что кроме целевых металлов, золота и серебра, цианидные комплексы образуют цветные металлы, такие как медь, никель, цинк. В результате кеки выщелачивания представляют большую угрозу окружающей среде в долгосрочной перспективе, так как под действием атмосферных факторов

происходит миграция токсичных элементов и их соединений по гидрологической сети, нанося серьезный вред гидробионтам [2; 3]. Для Камчатского края это является особенно важным, так как большинство рек и озер имеют статус нерестовых водоемов. Сорбционное доизвлечение целевых металлов, золота и серебра позволит повысить выход целевого продукта, а очистка сточных вод, формирующихся вокруг хвостохранилищ, позволит предотвратить загрязнение окружающих водоемов токсичными металлами.

Целью настоящей работы является обзор сорбционных методов, применяемых при переработке золотосодержащих руд и при хранении хвостов обогащения.

Материалы и методы исследования

Проведен анализ русскоязычных и англоязычных научных публикаций, вышедших с 2010 г. по настоящее время (посвященных сорбции мелкого и тонкого золота), таких издательств, как «Горная книга», Elsevier, Издательский дом «Академия Естествознания», Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry, материалов российских конференций, а также запатентованных технологий. В результате было проанализировано более 70 источников и отобрано для анализа и обработки 25 источников.

Результаты исследования и их осуждение

Классификация сорбентов, используемых в золотодобывающей отрасли. Поскольку гравитационное и флотационное обогащения являются недостаточно эффективными методами для извлечения мелкого и тонкодисперсного золота из промпродукта, используют различные методы цианирования. Из растворов цианидного выщелачивания золото извлекают сорбцией, используя продуктивные растворы либо после отделения кека выщелачивания, либо методом сорбент в пульпе. Применяемые сорбенты – это ионообменные смолы, активные угли, минеральные сорбенты, органические полимеры природного происхождения, исходные или модифицированные.

Ионообменные смолы. В работе сотрудников Института горного дела ДВО РАН показано [4], что активационное цианидное выщелачивание золота с агитацией и двухстадийной сорбцией ионообменной смолой более чем на 4% (выход 89,82%) эффективнее контрольного выщелачивания с агитацией (85,65%) и на 2% эффективнее выщелачивания с механоактивацией (87,82%). При применении сильноосновного анионита Amberjet™ 4400 для извлечения золота(I) из цианистых растворов достигается максимальная емкость 427,771 мг/г [5]. Сравнение анионообменных смол, содержащих четвертичные аммониевые основания MTA 5011 и Amberjet 4200, проведено Azizitorghabeh A. с соавторами [6]. Выяснилось, что при соотношении смолы и раствора 100 г/л, температуре 25°C, pH = 2,0 и 24 часах встряхивания максимальное извлечение золота 99% и минимальное извлечение меди 12% показала смола MTA 5011. Сорбционные испытания по извлечению золота из многокомпонентных растворов с применением анионита АМ-2Б проведены Kaumetova D.S. и др. [7]. Исследования скорости сорбции в статических условиях проводили в зависимости от температуры, присутствия примесей в растворе и концентрации золота. По результатам анализа было установлено, что главным фактором качественного и количественного разделения золота и примесных металлов является концентрация цианидных и гидроксильных ионов в растворе. Лабораторные и опытно-промышленные испытания ионита PuroGold в сравнении с ионитом АМ-2Б для сорбции золота из растворов кучного выщелачивания показали, что средняя емкость сорбента АМ-2Б по золоту через 72 ч равна 1,77 мг/г, тогда как у сорбента PuroGold средняя емкость составляет 0,97 мг/г. Также сорбент PuroGold требует меньше времени на регенерацию и имеет высокую скорость пропускания растворов. Применение сорбента ионита PuroGold позволит сократить затраты на строительство цеха регенерации 8,5 раз и в 5 раз годовые затраты на регенерацию. Авторы рекомендуют к применению ионит типа PuroGold, но только после его доработки (механическая прочность должна быть не менее 96% и емкость по золоту не менее 70% от емкости сорбента АМ-2Б) [8].

Уникальными свойствами обладает слабокислотный анионит, полученный введением карбоксильных групп обработкой полимерной матрицы натриевой солью монохлоруксусной кислоты (в мольном отношении 0,05–0,15). В качестве полимерной матрицы предложено использовать сополимер акрилонитрила, дивинилбензола, стирола и этилстирола. Десорбция золота из насыщенного ионита увеличивается до 97–99%, объем десорбирующего раствора снижается в 10 раз [9]. Получен сорбент, содержащий краун-эфир на носителе, для

сорбции золота из солянокислых растворов с концентрацией 0,1-0,3 моль/л соляной кислоты. В зависимости от задач извлечения могут использоваться носители различной природы: это могут быть полимерные материалы, такие как стирол-дивинилбензольные, акрилатные и т. п. неорганичные вещества, например силикагель, а также композитные структуры, к примеру SiO_2-P. Данный носитель обрабатывают раствором бензо-15-краун-5 в хлороформе или метаноле, в качестве разбавителя можно использовать нитробензол, отгонку растворителя и сушку сорбента. По результатам экспериментов выявлено, что сорбенты без разбавителя лучше сорбируют золото из 3 М солянокислых растворов. Сорбент, с содержанием 30% Б15К5, извлекает более 90% золота [10].

Активные угли. Экспериментально доказано влияние кислотной обработки и реактивации угля марки GOLGCARB 207C 6X12 на сорбционные свойства. Угли после технологических операций стали прочнее: механическая прочность составляет 95% после десорбции, кислотной обработки и реактивации; 96% после десорбции и кислотной обработки, тогда как у свежего, неиспользованного ранее в процессе угля механическая прочность составила 85%. Путем частичной замены извести на NaOH удалось уменьшить содержание ионов кальция в растворах. Также повысилась константа скорости адсорбции с 547 $ч^{-1}$ до 673 $ч^{-1}$, что увеличило извлечение из жидкой фазы с 63 до 64%. Авторы рекомендуют контролировать значения pH при процессе кислотной обработки (pH = 1,0–2,0), проведение кислотной обработки после десорбции, а не до операции, замену HCl на H_2SO_4 и извести на NaOH [11]. Повышение сорбционной емкости сорбента по золоту на 26,4% может быть достигнуто за счет неравномерной загрузки активного угля в сорбционные колонны – от меньшей к большей навстречу потоку раствора [12].

Доказано эффективное извлечение целевого компонента из золотосодержащего сырья при кучном, кюветном и чановом выщелачивании с использованием угольного сорбента с последующим озолением. Предварительное подкисление хлорной воды, для растворения хлора, путем подачи HCl, приводит к созданию кислой среды (pH 2,5–3,0). Благодаря формированию кислой среды до растворения хлора, происходит подавление реакции гидролиза и формируется мощный окислитель – хлорноватистая кислота (HClO). В результате эффективность извлечения золота в продуктивный раствор возрастает до 76,9%, т. к. хлор и хлорноватистая кислота активно взаимодействуют с частицами золота в золотосодержащем массиве [13].

Исследования Нургабыл Н.К. и Мамырбаевой К.К. показали, что среди применяемых сорбентов, таких как NoritRO, АКВАСОРБ и шунгитовый сорбент, наивысшая сорбционная емкость наблюдается у ионита NoritRO (0,88 мг/г). Оптимальный уровень pH для эффективного извлечения золота при использовании NoritRO и АКВАСОРБ составляет 10, тогда как для шунгитового сорбента этот показатель равен 6. В процессе извлечения золота из многокомпонентного раствора, с использованием NoritRO, также происходит соизвлечение примесей металлов. Использование сорбента NoritRO в шестиступенчатом процессе обеспечивает высокоэффективное извлечение золота из цианистого продуктивного раствора, достигая показателей 96–99% [14].

Используя пористый активированный уголь Norit ROX 0.8, удалось извлечь ионы $AuCl_4^-$ из кислого хлоридного раствора через механизм необратимой адсорбции. Во время этого процесса ионы золота восстанавливались благодаря взаимодействию с фенольными гидроксидными группами на поверхности угля. Осаждение золота наблюдалось преимущественно на поверхности гранул, хотя внутри пор угля металлические частицы оказались равномерно распределенными. Кинетический анализ показал, что адсорбция следует кинетике реакции первого порядка для обеих реагирующих сторон, то есть для Au(III) и активированного угля. Было установлено, что диффузия ионов золота оказывает значительное влияние на скорость сорбции, при этом основной препятствующий фактор – внутренняя диффузия. Также исследования температурных и гидродинамических условий подтвердили влияние этих параметров на процесс [15].

Специалистами института Иргиредмет проведены исследования процесса извлечения золота из активированных углей марок АГ-95, АБДК, ХМС. В фазе угольных сорбентов золото находится в виде комплексных соединений (галогенидных и тиокарбамидных). Также оценена эффективность последующей десорбции золота. Анализ результатов показал, что сорбция не зависит от pH, но мешающее влияние на скорость процесса извлечения золота оказывают хлор и бром. Присутствие тио-

карбамида существенно ухудшает процесс сорбции золота и серебра, что приводит к многократному уменьшению эффективности их извлечения. Кроме того, было обнаружено, что температура также негативно влияет на сорбционные свойства тиокарбамидных комплексов. При использовании активированного угля, пропитанного в растворах галогенидов, для десорбции золота рекомендуется применять растворы цианида натрия, тиосульфата натрия и ацетонитрила, имеющие щелочную среду. После элюирования активный уголь показывает высокую способность к сорбции золота из последующих растворов, сохраняя относительно высокую ёмкость [16].

Природные органические материалы. По результатам экспериментов было доказано, что превосходные характеристики имеет сорбент, синтезированный из фурфурольных сополимеров. Синтезирование фурфурола осуществлялось путем кипячения с серной кислотой растительных сельскохозяйственных отходов (стебли подсолнечника, соломы, отрубей) и древесного сырья. В процессах извлечения и последующего выделения золота его эффективность в поглощении и высвобождении золотосодержащих соединений значительно превышает показатели других материалов [17].

Материалы, содержащие целлюлозу, хлопковую целлюлозу и прядильные отходы, являются эффективными сорбентами для выделения ценных элементов, включая золото, из хлоридных растворов [18]. Экспериментально установлено, что максимальной сорбционной емкостью по отношению к золоту обладают материалы на основе прядильных отходов: при pH = 0 величина сорбционной емкости составила 5,1 мг/г, при pH = 1,0 это значение снизилось до 4,8 мг/г.

Сорбент на основе хитозана [19; 20] (панцири крабов, креветок, омаров и т.д.) с добавлением азелаиновой кислоты способен сорбировать золото. Сорбция золота при концентрации 1 мг/л составляет более 70%. Равновесное состояние достигается через 30–60 минут, что значительно быстрее по сравнению с другими сорбентами. Благодаря высокой степени набухания можно извлекать драгоценные металлы даже из сточных вод с очень низкой концентрацией.

Минеральные сорбенты. Большую роль в сорбции золота играют минеральные сорбенты в силу их доступности и невысокой стоимости. Среди исследуемых материалов, описанных в литературе, стоит выделить смесь глинистых минералов и гидрослюды, которая продемонстрировала наибольшие характеристики сорбционной активности (как по скорости, так и по величине) при взаимодействии с золотом. Согласно результатам анализа кривых сорбции, данная смесь способна полностью извлечь золото как из хлоридных, так и из сульфатных растворов. Вторая смесь (каолинитовая глина и гуминовые кислоты) также полностью извлекает Au из сульфатных растворов, но в хлоридных растворах устанавливается равновесие между Au в растворе и сорбированным Au [21].

Как правило, минеральные сорбенты обладают относительно невысокой сорбционной емкостью, но наличие у них развитой поверхности позволяет провести модификацию с целью улучшения их сорбционных свойств. Например, при модификации бентонита тиомочевиной и моноэтаноламином значительно возрастает адсорбция серебра. Так, по результатам экспериментов [22] выяснилось, что бентонит, пропитанный 10%-ным водным раствором тиокарбамида, имеет наибольшую адсорбционную активность 72 мг/г, когда как у чистого образца бентонита адсорбционная активность равна 45 мг/г.

В НИГТЦ ДВО РАН проводятся экспериментальные исследования по изучению сорбционных характеристик цеолитов Ягоднинского месторождения Камчатского края (№ 1) и Середочного месторождения Хабаровского края (№ 2). Цеолит Ягоднинского месторождения Камчатского края содержит до 70% клиноптилолита, до 10% морденита, имеет довольно высокий кремнеземистый модуль Si/Al – 5,25 и соотношение содержания щелочноземельных металлов к сумме щелочных металлов Ca/(Na+K) – 0,89/4,97. Цеолит Середочного месторождения Хабаровского края состоит на 65–70% из клиноптилолита и изоструктурного ему гейландита, кремнеземистый модуль Si/Al – 3,15; соотношение содержания щелочноземельных металлов к сумме калия и натрия Ca/(Na+K) – 2,86/4,10. Была прослежена зависимость сорбции золота от pH в диапазоне от 2,0 до 10,0 ед. [23]. Выявлено оптимальное значение pH, равное 4,0, при этом сорбционная емкость по золоту составила 0,126 и 0,143 мг/г для цеолитов месторождений № 1 и № 2 соответственно.

При изучении кинетических характеристик сорбции использовали хлоридные растворы с содержанием золота на уровне 10 мг/л.

Таблица 1

Кинетические характеристики сорбции золота цеолитами № 1 и № 2 [24]

Образец	Степень завершенности, %	$k_1 \cdot 10^5$, $с^{-1}$	$k_2 \cdot 10^8$, $г \cdot с^{-1}$ ммоль$^{-1}$	$D_{ef} \cdot 10^{10}$, $см^2/с$	
				r = 0,025 см	r = 0,0125 см
№ 1	65	9,2	3,8	14,7	3,7
	100	1,0		1,6	0,39
№ 2	31	3,0	1,4	9,6	2,4
	100		115	5,9	1,6

Таблица 2

Сорбция золота цеолитами месторождений № 1 и № 2, полученная в статических условиях [25]

Сорбент	Уравнение Ленгмюра				Уравнение Фрейндлиха			Модель Дубинина – Радушкевича			
	k	R_L	ΔG, кДж/моль	R^2	n	k,·10^3	R^2	C_o, мг/л	K_{DR}, моль^2/кДж^2	E, кДж/моль	R^2
№ 1	112	0,160	–28,3	0,964	3,66	2,1	0,939	2–6 6–10	0,0039 0,0114	11,3 6,62	0,950 0,993
№ 2	46	0,326	–26,2	0,989	2,26	5,2·	0,907	2–6 6–10	0,0062 0,0192	8,98 5,10	0,968 0,996

В таблице 1 представлены кинетические характеристики сорбции золота цеолитами различных месторождений Дальнего Востока, где a – равновесная сорбционная емкость, ммоль/г; k_1 – константа скорости сорбции модели псевдопервого порядка, 1/с; k_2 – константа скорости сорбции псевдовторого порядка, г/(ммоль·с); D_{ef} – коэффициент диффузии, рассчитанный графоаналитическим способом в зависимости от степени завершенности процесса, $см^2/с$; r – граничные значения радиуса зерна сорбента, см. Низкие значения коэффициентов диффузии свидетельствуют о том, что процесс сорбции лимитируется внутренней диффузией.

Для описания процессов сорбции золота цеолитами № 1 и № 2 в зависимости от концентрации в диапазоне от 2,0 до 10 мг/л при соотношении Т:Ж=1:50 проводили экспериментальные исследования в статическом режиме. Для обработки полученных результатов использовали уравнения Ленгмюра, Фрейндлиха и Дубинина – Радушкевича. Расчеты по уравнению Ленгмюра позволяют оценить теоретическую максимальную сорбционную емкость A_{max}, константы адсорбционного взаимодействия, k, энергию Гиббса ΔG. По эмпирическому уравнению Фрейндлиха рассчитаны константы адсорбционного равновесия, зависящие от природы адсорбента и адсорбата, механизм сорбции оценен по модели Дубинина – Радушкевича.

Параметр равновесия R_L, рассчитанный исходя из параметров уравнения Ленгмюра, имеет значения меньшие единицы, что позволяет сделать вывод об удовлетворительном протекании адсорбции.

Согласно модели Дубинина – Радушкевича, при содержании золота от 2 до 6 мг/л свободная энергия адсорбции E на образце № 1 равна 11,32 кДж/моль, на образце № 2 – 8,98 кДж/моль, что соответствует ионообменному механизму. При сорбции из растворов с содержанием золота от 6 до 10 мг/л свободная энергия адсорбции на образце № 1 составляет 6,62 кДж/моль, на образце № 2 – 5,1 кДж/моль, что свидетельствует о физической адсорбции, вероятно, за счет порового пространства.

Заключение

В условиях постоянно растущего спроса на золото, перехода золотоизвлекательных фабрик на переработку отходов производства и лежалых хвостов важным звеном в технологической схеме является поиск

эффективных и селективных сорбентов для концентрирования золота из растворов различного состава. На основании выполненного литературного обзора и собственных исследований установлено, что в настоящее время ведутся работы по разработке следующих видов сорбентов: ионообменные смолы, активные угли, природные органические и природные минеральные сорбенты. Для улучшения сорбционных свойств и адаптирования сорбционных материалов к растворам различного состава применяют физико-химическую модификацию существующих сорбционных материалов. Ионообменные смолы и активные угли в исходном или модифицированном состоянии чаще применяют не только по методу сорбент в пульпе, но и для сорбции в сорбционных колоннах методами восходящего или нисходящего потока. Минеральные сорбенты, такие как цеолиты, рекомендуется использовать для очистки талых и дождевых стоков в местах хранения кеков выщелачивания золотоизвлекательных фабрик.

Список литературы

1. Малышев Е.О. Современные технологии извлечения мелкого и тонкого золота из лежалых хвостов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № S14. С. 33–43. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_14_33. EDN: EWLUER.

2. Ершова Л.С., Белова Т.П. Перспективы использования природных цеолитов Ягоднинского месторождения Камчатского края // Естественные и технические науки. 2017. № 3 (105). С. 66–69. EDN: YJTOET.

3. Пашкевич Р.И., Белова Т.П., Таранов С.Р. Численное моделирование состава дренажных вод отвалов на месторождении «Аметистовое» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № S 2. С. 270–286. EDN: TKPAMX.

4. Лаврик А.В., Рассказова А.В., Копылова А.Е., Лаврик Н.А. Исследование способов переработки золотосодержащей руды месторождения Делькен // Проблемы недропользования. 2021. № 1 (28). С. 28–34. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.01.028. EDN: XEAGAO.

5. Kwak I.S., Bae M.A, Won S.W, Mao J., Sheba K., Park J., Sathishkumar M., Yun Y. S. Sequential process of sorption and incineration for recovery of gold from cyanide solutions: Comparison of ion exchange resin, activated carbon and biosorbent // Chemical Engineering Journal. 2010. Vol. 165. Is. 2. P. 440–446. DOI: 10.1016/j.cej.2010.09.027.

6. Azizitorghabeh A., Mahandra H, Ramsay J., Selective gold recovery from pregnant thiocyanate leach solution using ion exchange resins // Hydrometallurgy. 2023. Vol. 218. P. 106055. DOI: 10.1016/j.hydromet.2023.106055.

7. Kaumetova D.S., Koizhanova A.K., Absalyamov Kh. K., Magomedov D.R., Banks C.E. Studies of the rate of gold sorption by the AM – 2B anionite from cyanidealkaline solutions // Комплексное использование минерального сырья. 2022. №. 1 (320). P. 88–94. DOI: 10.31643/2022/6445.10. EDN: KYQPYS.

8. Дмитриенко В.П., Андросов А.А., Сидоров М.Е., Шестаев В.Ф. Сорбция золота из растворов кучного выщелачивания // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2010. Т. 53. № 8. С. 63–67. EDN: MTALED.

9. Способ получения ионита для сорбции золота: пат. 2615522 C1 Рос. Федерация: МПК B01J 41/12/ Балановский Н.В., Царенко Н.А., Шурмель Л.Б.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии». № 2016112911; заявл. 05.04.2016; опубл. 05.04.2016. EDN: ZTVOVV.

10. Способ получения сорбентов на основе бензо-15-краун-5 для извлечения золота: пат. 2699631 C2 Рос. Федерация: МПК B01J 20/32, B01J 20/22/ Выдаш А.А., Довгий И.И., Бежин Н.А.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Малое инновационное предприятие «Сорбентэкс». № 2018104788; заявл. 07.02.2018; опубл. 06.09.2019. EDN: ZQLVBV.

11. Мязин В.П., Арданаева С.А. Влияние активированного угля на эффективность сорбционного выщелачивания золотосодержащих руд (на примере обогатительной фабрики ГОКа «Кубака») // Вестник Забайкальского государственного университета. 2024. Т. 30. № 1. С. 62–72. DOI: 10.2109/2227-9245-2024-30-1-62-72 EDN: HEBDJG.

12. Способ извлечения золота из растворов сорбцией на активный уголь: пат. 2811646 C1 Рос. Федерация: МПК C22B 11/00, C22B 3/24, B01D 15/00/ Хвойнов В.Н., Елшин В.В., Миронов А.П.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов» АО «Иргиредмет». № 2022125237: заявл. 26.09.2022; опубл. 15.01.2024. EDN: ICLCOM.

13. Способ извлечения золота из золотосодержащего сырья: п. 2794160 C1 Рос. Федерация: МПК C22B 11/00, C22B 11/06, C22B 3/12/ Морозов Ю.П., Вальцева А.И., Апакашев Р.А., Шевченко А.С.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет». № 2022121536: заявл. 09.08.2022; опубл. 12.04.2023. EDN: ODYYAR.

14. Нургабыл Н.К., Мамырбаева К.К. Исследование сорбции золота активированным углем в присутствии металлов примесей // Горный журнал Казахстана. – 2025. № 1(237). P. 51–58. DOI: 10.48498/minmag.2025.237.1.003. EDN: CIAUZK.

15. Wojnicki M., Luty-Błocho M., Socha R.P., Mech K., Pędzich Z., Fitzner K., Rudnik E. Kinetic studies of sorption and reduction of gold (III) chloride complex ions on activated carbon Norit ROX 0.8 // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2015. Vol. 29. P. 289–297. DOI: 10.1016/j.jiec.2015.03.036.

16. Войлошников Г.И., Войлошникова Н.С., Григорьевна И.И., Вывальцев А.В. Сорбция золота активными углями из нецианистых растворителей и десорбция золота из насыщенного угля // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 7(47). С. 138–143. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sorbtsiya-zolota-aktivnymi-uglyami-iz-netsianistyh-rastvoriteley-i-desorbtsiya-zolota-iz-nasyschennogo-uglya (дата обращения: 10.06.2025). EDN: NCGKJT.

17. Проценко О.А. Сорбция золота из цианидных растворов углеродсодержащими сорбентами // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной 115-летию со дня рождения профессора Л.П. Кулёва: в 2 томах, Томск, 25–29 мая 2015 года / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Т. 1. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2015. С. 75–77. EDN: UCZSGD.

18. Чубенко Я.Б. Зеличенко Е.А. Сорбция золота из хлоридных растворов целлюлозосодержащими материалами // Научный прорыв 2024: сборник статей II Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 20 марта 2023 года. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. С. 18–21. EDN: XPQZIU.

19. Benavente M., Moreno L., Martinez J. Sorption of heavy metals from gold mining wastewater using chitosan // Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2011. Vol. 42. Is. 6. P. 976–988. DOI: 10.1016/j.jtice.2011.05.003.

20. Radwan-Praglowska J., Janus L., Sierakowska A., Ecofriendly chitosan-based super sorbent obtained under microwave radiation for valuable metals recovery from wastewater // Polymer Testing. 2022. Vol. 112. P. 107629. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2022.107629.

21. Мягкая И.Н., Сарыг-Оол Б.о. Ю., Лазарева Е.В., Жмодик С. М. Моделирование процесса сорбции Au природными сорбентами в условиях потока рассеяния сульфидного хвостохранилища // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2019. Т. 12. № 4. С. 580–589. DOI: 10.17516/1998-2836-0153. EDN: LCREEI.

22. Крымова В.В. Сорбционное извлечение ионов серебра (I) из растворов модифицированными бентонитами // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. 2014. Т. 27 (66). № 4. С. 109–116. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sorbtsionnoe-izvlechenie-ionov-serebra-i-iz-rastvorov-modifitsirovannymi-bentonitami (дата обращения: 16.07.2025).

23. Белова Т.П., Хижко З.И. Устойчивость природных цеолитов при сорбции золота из модельных растворов при различных значениях pH // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2023. Т. 9. № 2. С. 251–258. DOI: 10.29039/2413-1725-2023-9-2-251-258. EDN: PUYNRT.

24. Белова Т.П. Кинетика сорбции ионов золота из водных растворов цеолитами // Успехи современного естествознания. 2023. № 6. С. 98–103. DOI: 10.17513/use.38059. EDN: POBRQJ.

25. Белова Т.П. Применение адсорбционных моделей для описания сорбции золота из хлоридных растворов природными цеолитами в статическом режиме // Успехи современного естествознания. 2023. № 7. С. 82–87. DOI: 10.17513/use.38075. EDN: KRAJXI.

УДК 622.279.72:551.34
DOI 10.17513/use.38433

ВЛИЯНИЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД НА ВОЗМОЖНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ В НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ И ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИНАХ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ

Портнягин А.С., Иванова И.К., Рожин И.И.

ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», обособленное подразделение Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: al220282@mail.ru

Нефтяные месторождения восточной части Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области характеризуются не только своим сложным горно-геологическим строением, но и аномально низкими пластовыми температурой и давлением, высокой минерализацией пластовых вод хлоркальциевого типа, а также своим расположением в зоне распространения многолетнемерзлых пород. Перечисленные факторы при использовании растворов полимеров в качестве агентов вытеснения нефти на этих месторождениях могут спровоцировать образование газогидратов в призабойной зоне нагнетательных и на устье добывающих скважин. Таким образом, цель работы – численное исследование изменения температуры закачиваемых в пласт растворов и добываемой жидкости для некоторых месторождений восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы в зависимости от глубины и времени закачки при помощи формулы А.Ю. Намиота. Установлено влияние времени воздействия на пласт, наличие соли хлорида кальция, имитирующего пластовую воду, мощности мерзлых пород на температуру закачиваемой и добываемой жидкости. Показано, что температуры закачиваемых растворов при пластовом давлении для всех рассматриваемых месторождений находятся в области стабильности газогидратов вне зависимости от продолжительности их закачки. Добавление соли в систему приводит к снижению вероятности образования газогидратов в призабойной зоне нагнетательных скважин за счет смещения термобарических условий из области интенсивного гидратообразования в область их возможного образования. Температура добываемой жидкости при движении к поверхности снижается за счет влияния мерзлых пород. При добыче нефти термобарические условия на устье скважины находятся в области интенсивного образования газогидратов. Присутствие соли в добываемой нефти приводит к смещению условий гидратообразования и равновесных условий в область низких температур, однако при ее низких концентрациях термобарические условия соответствуют интенсивному образованию газогидратов на примере Иреляхского и Чаяндинского месторождений. Установлено, что на устье добывающих скважин вероятность образования газогидратов выше, чем при закачке растворов полимеров в пласт.

Ключевые слова: газогидрат, многолетнемерзлые породы, водополимерные растворы, равновесные условия гидратообразования, переохлаждение

Работа выполнена в рамках государственных заданий Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (рег. № 122011100157-5, FWRS-2025-0045) с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

THE INFLUENCE OF PERMAFROST ON THE POSSIBILITY OF THE HYDRATE FORMATION IN INJECTION AND PRODUCTION WELLS IN OIL FIELDS OF THE EASTERN PART OF THE NEPA-BOTUOBA OIL AND GAS REGION

Portnyagin A.S., Ivanova I.K., Rozhin I.I.

Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», a separate division Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: al220282@mail.ru

Oil fields of the eastern part of the Nepa-Botuoba oil and gas region are characterized not only by their complex geological structure, but also by abnormally low stratum temperature and pressure, high mineralization of calcium chloride stratum waters, and their location in the permafrost zone. The above factors, when using polymer solutions as oil displacement agents at these fields, can provoke the formation of gas hydrates in the bottomhole zone of injection wells and at the well-head of production wells. The purpose of this work – a numerical study of changes of the solutions temperature that injected into the reservoir and the produced liquid depending on the injection depth and time using the formula of A. Yu. Namiot for some fields of the eastern part of the Nepa-Botuoba anteclise. The influence of the exposure time on the reservoir, the presence of calcium chloride salt simulating stratum water, and the permafrost thickness on the temperature of the injected and produced liquid was established. It is shown that the temperatures of the injected solutions at stratum pressure for all the considered fields are in the gas hydrate stability region regardless of the duration of their injection. Adding salt to the system reduces the probability of gas hydrate formation in the bottomhole zone of injection wells due to the shift of the thermobaric conditions from the region of

intensive hydrate formation to the region of their possible formation. The temperature of the produced fluid when moving to the surface decreases due to the influence of permafrost. During oil production, the thermobaric conditions at the well-head are in the region of intensive gas hydrate formation. The presence of salt in the produced oil leads to a shift to the conditions of hydrate formation and equilibrium conditions for the region of low temperatures, however, at its low concentrations, the thermobaric conditions correspond to intensive gas hydrate formation using the example of the Irelyakh and Chayanda fields. Thus, the probability of gas hydrate formation at the well-head of production wells is higher than when injecting polymer solutions into the reservoir.

Keywords: gas hydrate, permafrost, water-polymer solutions, equilibrium conditions of hydrate formation, supercooling

The work was carried out within the framework of state assignments of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (reg. No. 122011100157-5, FWRS-2025-0045) using scientific equipment of the Center for Collective Use of the Federal Research Center «Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Введение

Более 65 % площади Российской Федерации расположены в зоне распространения многолетнемерзлых пород (ММП) [1, 2]. В связи с чем добыча полезных ископаемых скважинным способом на данных территориях осложнена по ряду причин: 1) при бурении и эксплуатации скважин происходит растепление сцементированных льдом пород, что приводит к снижению их несущей способности, в результате чего могут возникнуть просадка и сползание обсадных колонн скважин, прихваты бурового инструмента и снижение выхода керна; 2) возможно замерзание технологических растворов в стволе скважины вследствие теплообмена с окружающими мерзлыми породами, в том числе за счет образования газовых гидратов в области газоводяного контакта [3, 4]. Прогнозирование и препятствование возникновению таких осложнений производятся за счет подбора режимов закачки, отбора и циркуляции технологических жидкостей, а также за счет изменения конструкции скважин [5, 6].

Образование техногенных газовых гидратов в нефтегазопромысловом оборудовании является типичным технологическим осложнением при добыче нефти и газа на месторождениях, находящихся в зоне распространения ММП, борьба с которыми происходит путем предупреждения и ликвидации газогидратных пробок [7–9]. Наиболее действенным способом предупреждения гидратообразования является выбор оптимального режима работы скважины, при котором будет отсутствовать один или несколько факторов, способствующих образованию газогидратов, таких как термобарические условия, соответствующие стабильному существованию газовых гидратов, и наличие свободной воды [10, 11].

Цель исследования – для определения режимов закачки и отбора жидкости, безопасных от образования газогидратов на нефтяных месторождениях, расположенных в зоне распространения ММП, необходимо изучение температуры закачиваемых растворов в призабойной зоне и добываемой жидкости на устье скважины.

Материалы и методы исследования

В данной работе в качестве геологических объектов были выбраны нефтяные месторождения восточной части Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области (НБ НГО), в частности Иреляхское газонефтяное месторождение (ГНМ), Среднеботуобинское, Чаяндинское и Талаканское нефтегазоконденсатные месторождения (НГКМ), а также Верхнечонское нефтяное месторождение (НМ), которые простираются с северо-востока в юго-западном направлении. Выбранные месторождения нефти расположены в зоне сплошного и островного распространения ММП, мощность которых варьируется от 50 до 700 м, где в предложенном ряду месторождений мощность ММП снижается (рис. 1). Так, Иреляхское ГНМ и Среднеботуобинское НГКМ располагаются в зоне сплошного распространения ММП, ее мощность составляет 700 и 400 м соответственно [12, 13]. Чаяндинское, Талаканское и Верхнечонское месторождения, которые расположены южнее, находятся в зоне островного распространения ММП, где мощность мерзлых пород составляет 300, 70 и 50 м соответственно [14, 15]. При этом в границах этих месторождений наблюдаются свободные от мерзлоты обширные площади.

Низкие значения коэффициента извлечения нефти на месторождениях восточной части НБ НГО, которые не превышают 23 %, обусловлены сложным горно-геологическим строением рассматриваемых месторождений, отягощенных аномально низкими пластовыми температурами и давлением, высокой минерализацией пластовых вод, а также наличием ММП.

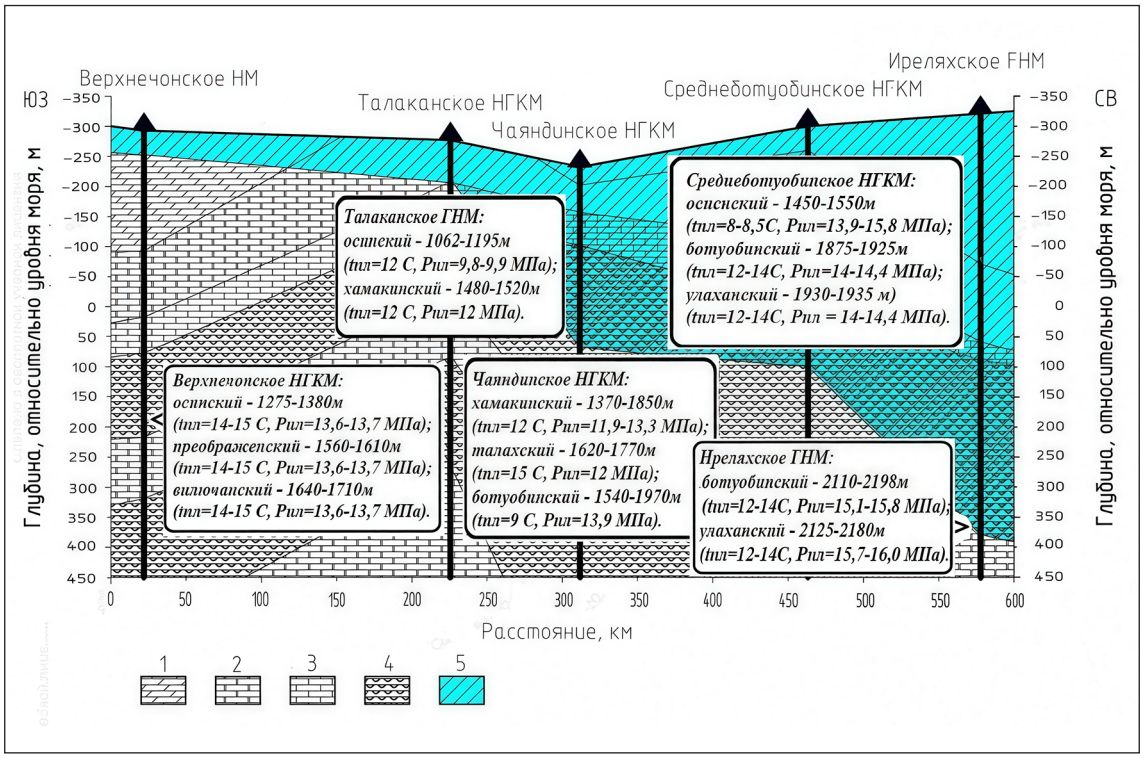


Рис. 1. Распределение многолетнемерзлых пород в осадочном чехле Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области:
1 – мергели; 2 – доломиты; 3 – известняк; 4 – каменная соль; 5 – ММП
Источник: составлено авторами на основе [13–15]

Поэтому с целью увеличения эффективности добычи нефти на данных месторождениях рассматриваются варианты применения третичных методов увеличения нефтеотдачи, в том числе методы водополимерного заводнения. Так, одними из наиболее распространенных загустителей в нефтедобывающей промышленности являются водорастворимые полимеры. В данной работе рассмотрены растворы таких водорастворимых полимеров, как полиакриламид (ПАА), натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) и полиэтиленгликоль (ПЭГ) с концентрациями 1, 5 и 30 г/л соответственно.

Одним из наиболее значимых параметров при определении термобарических условий образования газогидратов является температура среды гидратообразования. Расчет температуры нагнетаемой жидкости в призабойной зоне скважины нефтяных месторождений, расположенных в зоне распространения ММП, требует учета нескольких факторов, включая теплофизические свойства породы, характеристики нагнетаемой жидкости и параметры скважины, а также тепловое взаимодействие закачиваемой жидкости с горными породами. Поэтому изучение влияния толщ ММП на температуру закачиваемых растворов в призабойной зоне нагнетательных, а также добываемой жидкости на устье добывающих скважин проведено расчетным методом с применением формулы А.Ю. Намиота [16]. Данная формула широко применяется для определения температур пласта на забое нагнетательной скважины или по ее стволу. Так, в работе [17] установлено, что результаты расчетов температуры закачиваемых растворов по математической модели Намиота хорошо согласуются с данными промысловых замеров температуры.

Формула Намиота [18] имеет вид

$$T_p = \theta_0 + \frac{\Gamma}{\beta}(\beta z - 1) + \left(T_y - \theta_0 + \frac{\Gamma}{\beta}\right)e^{-\beta z}, \quad (1)$$

где θ_0 – среднегодовая температура дневной поверхности, соответственно устью скважины, °С; z – вертикальная координата, м; Γ – геотермический градиент, °С/м; T_y – температура раствора на устье скважины, °С.

Переменная β в (1) определяется по уравнению

$$\beta = \frac{\pi K}{qC}, \quad (2)$$

где K – полный линейный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м·°С); C – объемная теплоемкость нагнетаемого раствора, Дж/(м^3·°С); q – объемный расход раствора, м^3/с.

Полный линейный коэффициент теплоотдачи K находится по уравнению

$$K = \frac{2}{\frac{1}{\lambda} ln \frac{r_t}{r_c}}, \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности горных пород, Вт/(м·°С); r_c – радиус скважины, м; r_t – условный радиус теплового влияния, м.

Условный радиус теплового влияния вычисляется по формуле

$$r_t = 2\sqrt{\alpha t}, \quad (4)$$

где α – коэффициент температуропроводности горных пород, м^2/с; t – время закачки, с.

Коэффициент температуропроводности горных пород имеет выражение

$$\alpha = \frac{\lambda}{c_{\text{п}}\rho_{\text{п}}}, \quad (5)$$

где λ – коэффициент теплопроводности пород, Вт/(м·°С); $c_{\text{п}}$ – удельная теплоемкость пород, Дж/(кг·°С); $\rho_{\text{п}}$ – плотность пород, кг/м^3.

За коэффициент теплопроводности горных пород, слагающих рассматриваемую толщу, принимали их эквивалентный коэффициент теплопроводности в зависимости от их мощности. При этом точность литологического разреза ограничили слагающими его свитами. В расчетах было принято, что свита имеет однородный состав, который соответствует преобладающему в ней типу породы.

Так как рассматриваемые месторождения располагаются в зоне распространения ММП, расчет температуры нагнетаемого раствора для каждого месторождения производился в два последовательных этапа. На первом этапе проводили расчет изменения температуры от устья скважины до нижней границы ММП, а на втором этапе – от нижней границы ММП до забоя скважины.

На втором этапе для расчета температуры раствора в призабойной зоне нагнетательной скважины, за начальную температуру принимали температуру закачиваемого раствора, рассчитанную для нижней границы ММП, а температуру нейтрального слоя равную 0 °С, которая соответствует нижней границе ММП. Теплоемкость закачиваемого раствора принимали за теплоемкость воды, так как содержание воды в исследуемых растворах полимеров составляло от 97,08 до 99,9 %.

При расчете температуры добываемой жидкости рассматривалась водонефтяная эмульсия (ВНЭ) с соотношением воды к нефти равным 80/20 массовых частей, в формуле Намиота был изменен знак геотермического градиента с целью учета зависимости изменения температуры с глубиной (z), а за начальную температуру добываемой жидкости была взята пластовая температура. Расчет также проводили в два этапа: первый – для толщи горных пород с положительной температурой от глубины залегания нефтяного пласта до нижней границы ММП, второй – для пород с отрицательной температурой от нижней границы ММП до устья скважины.

Также было установлено влияние на температуру закачиваемой и добываемой жидкостей следующих факторов: времени воздействия на пласт и наличие в жидкости соли хлорида кальция, имитирующей пластовую воду хлоркальциевого типа, характерную для рассматриваемых месторождений [19]. Так, в расчетах время закачки и добычи жидкости принято равным часу, суткам, неделе, месяцу, году и двум годам, а минерализация закачиваемых и добываемых жидкостей составляла 40, 80, 120, 160 и 200 г/л.

Таким образом, была рассчитана температура закачиваемых растворов в призабойной зоне нагнетательных скважин и добываемой ВНЭ на устье добывающих скважин с применением формулы А.Ю. Намиота с учетом мощности ММП и продолжительности закачки растворов. Исходные технологические данные закачки растворов, а также теплофизические параметры слагающих околоскважинное пространство пород, использованные для проведения расчетов температуры нагнетаемой жидкости в призабойной зоне нагнетательной скважины, приведены в табл. 1. В табл. 2 представлены исходные данные для расчета температуры добываемой жидкости.

Таблица 1

Исходные данные для расчета температуры закачиваемого раствора в призабойной зоне нагнетательной скважины

	Коэффициент теплопроводности горных пород (λ), Вт/(м·°С)	Плотность горных пород ($\rho_п$), кг/м^3	Геотермический градиент (Г), °С/м	Диапазон глубин (z), м	Радиус скважины ($r_с$), см	Расход раствора (q), дм^3/с	Температура раствора на устье скважины ($T_у$), °С	Температура нейтрального слоя (T_0), °С [х]	Удельная теплоемкость раствора (c), Дж/(кг·°С)
ПЕРВЫЙ ЭТАП									
Иреляхское ГНМ	2,74	2047	0,0040	0–700	8,4	5,79	20	0	4200
Среднеботуобинское НГКМ	2,99	2395	0,0071	0–400	8,4	5,79	20	0	4200
Чаяндинское НГКМ	3,02	2192	0,0094	0–300	8,4	5,79	20	0	4200
Талаканское НГКМ	2,98	2636	0,0625	0–80	8,4	5,79	20	2	4200
Верхнечонское НМ	1,60	1600	0,1026	0–50	8,4	5,79	20	2	4200
ВТОРОЙ ЭТАП									
Иреляхское ГНМ	3,17	2409	0,0090	700–1452,5	8,4	5,79	6,4	0	4200
Среднеботуобинское НГКМ	3,32	2367	0,0085	400–1532,5	8,4	5,79	9,7	0	4200
Чаяндинское НГКМ	3,36	2361	0,0083	300–1455	8,4	5,79	12,5	0	4200
Талаканское НГКМ	3,07	2446	0,0071	80–1420	8,4	5,79	17,3	0	4200
Верхнечонское НМ	2,98	2360	0,0077	50–1625	8,4	5,79	18,9	0	4200

Источник: составлено авторами на основе [13–15].

Таблица 2

Исходные данные для расчета температуры добываемой жидкости на устье добывающей скважины

	Коэффициент теплопроводности горных пород (λ), Вт/(м·°С)	Плотность горных пород ($\rho_п$), кг/м^3	Геотермический градиент (Г), °С/м	Диапазон глубин (z), м	Радиус скважины ($r_с$), см	Дебит жидкости (q), дм^3/с	Температура добываемой жидкости в призабойной зоне скважины ($T_у$), °С	Температура нейтрального слоя (T_0), °С	Удельная теплоемкость раствора (c), Дж/(кг·°С)
ПЕРВЫЙ ЭТАП									
Иреляхское ГНМ	3,17	2409	-0,0090	1452,5–700	8,4	5,79	13	13	3765
Среднеботуобинское НГКМ	3,32	2367	-0,0085	1532,5–400	8,4	5,79	13	13	3765
Чаяндинское НГКМ	3,36	2361	-0,0083	1455–300	8,4	5,79	12	12	3765
Талаканское НГКМ	3,07	2446	-0,0071	1420–80	8,4	5,79	12	12	3765
Верхнечонское НМ	2,98	2360	-0,0077	1625–50	8,4	5,79	14,5	14,5	3765
ВТОРОЙ ЭТАП									
Иреляхское ГНМ	2,74	2047	-0,0040	700–0	8,4	5,79	5,08	0	3765
Среднеботуобинское НГКМ	2,99	2395	-0,0071	400–0	8,4	5,79	4,49	0	3765
Чаяндинское НГКМ	3,02	2192	-0,0094	300–0	8,4	5,79	5,66	0	3765
Талаканское НГКМ	2,98	2636	-0,0625	80–0	8,4	5,79	5,62	2	3765
Верхнечонское НМ	1,60	1600	-0,1026	50–0	8,4	5,79	6,20	2	3765

Источник: составлено авторами на основе [13–15].

Результаты исследования и их обсуждение

Результатами расчетов установлено, что по мере снижения в ряду месторождений мощности ММП увеличивается значение минимальной достижимой температуры закачиваемого раствора и снижается глубина ее достижения, а также возрастает температура раствора в призабойной зоне нагнетательной скважины. Так, на Иреляхском ГНМ (рис. 2) минимальная температура достигается на глубине 1200 м и ее значение составляет 4,3°С, на Среднеботуобинского НГКМ эти параметры – 1100 м и 5,6 ºС соответственно, на Чаяндинском НГКМ – 1100 м и 7,4 ºС, на Талаканском НГКМ – 1000 м и 8,6 ºС, на Верхнечонском НМ – 1000 м и 9,4 ºС. Также в этом ряду увеличивается температура закачиваемого раствора в призабойной зоне с 8,5 ºС на Иреляхском ГНМ до 11,3 ºС на Верхнечонском НМ.

Установлено, что на температуру закачиваемого раствора в призабойной зоне также влияет продолжительность закачки. Так, с увеличением продолжительности закачки раствора с 1 ч до 2 лет температура раствора в призабойной зоне растет, что объясняется передачей и накоплением тепловой энергии закачиваемого раствора к слагающим околоскважинное пространство породам.

Расчеты для смеси растворов полимеров и хлорида кальция с концентрациями 40, 80, 120, 160 и 200 г/л показали, что соль не оказывает большого влияния на температуру растворов в призабойной зоне нагнетательной скважины.

Таким образом, установлено, что на температуру закачиваемого раствора в пределах рассматриваемых месторождений в первую очередь оказывает влияние наличие и мощность ММП, а также продолжительность закачки раствора, где со снижением мощности ММП и увеличением продолжительности закачки раствора происходит увеличение температуры раствора в призабойной зоне нагнетательной скважины.

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на образование гидратов, является переохлаждение системы, которое представляет собой аналог индукционного периода данного процесса, показывающее смещение температуры в область низких температур, которое необходимо для начала процесса нуклеации гидратов. Другими словами, переохлаждение системы является движущей силой гидратообразования, и чем больше необходимо ее приложить для начала процесса нуклеации газогидратов, тем выше способность среды гидратообразования ингибировать этот процесс. Численное значение степени переохлаждения системы выражается как разность равновесной температуры и температуры начала образования гидратов при одинаковом давлении.

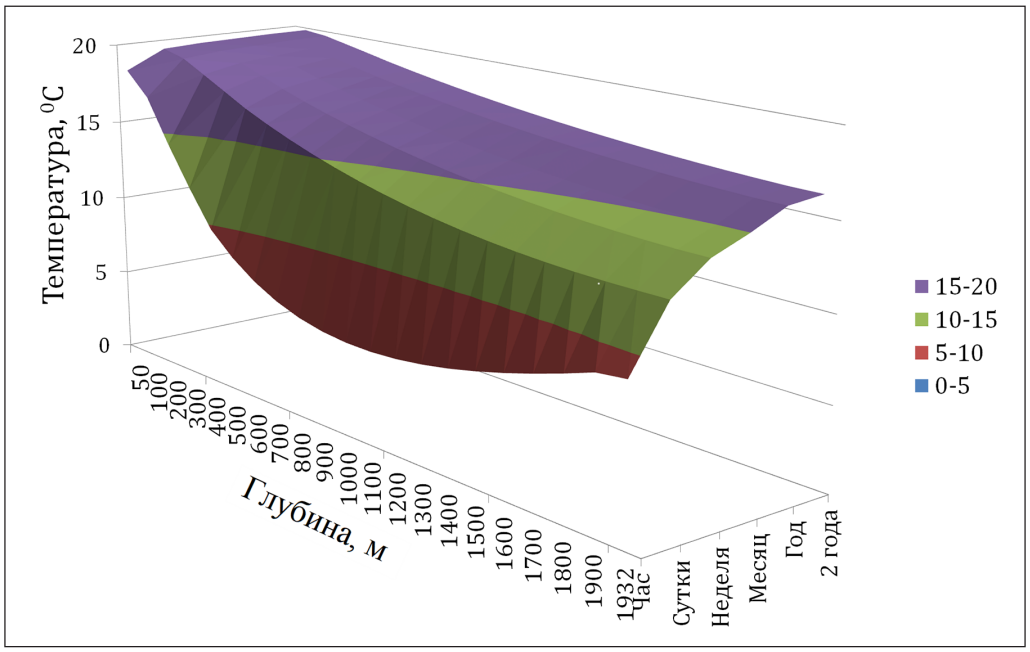


Рис. 2. Характерная зависимость температуры закачиваемого раствора от глубины и продолжительности закачки на примере Иреляхского ГНМ
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

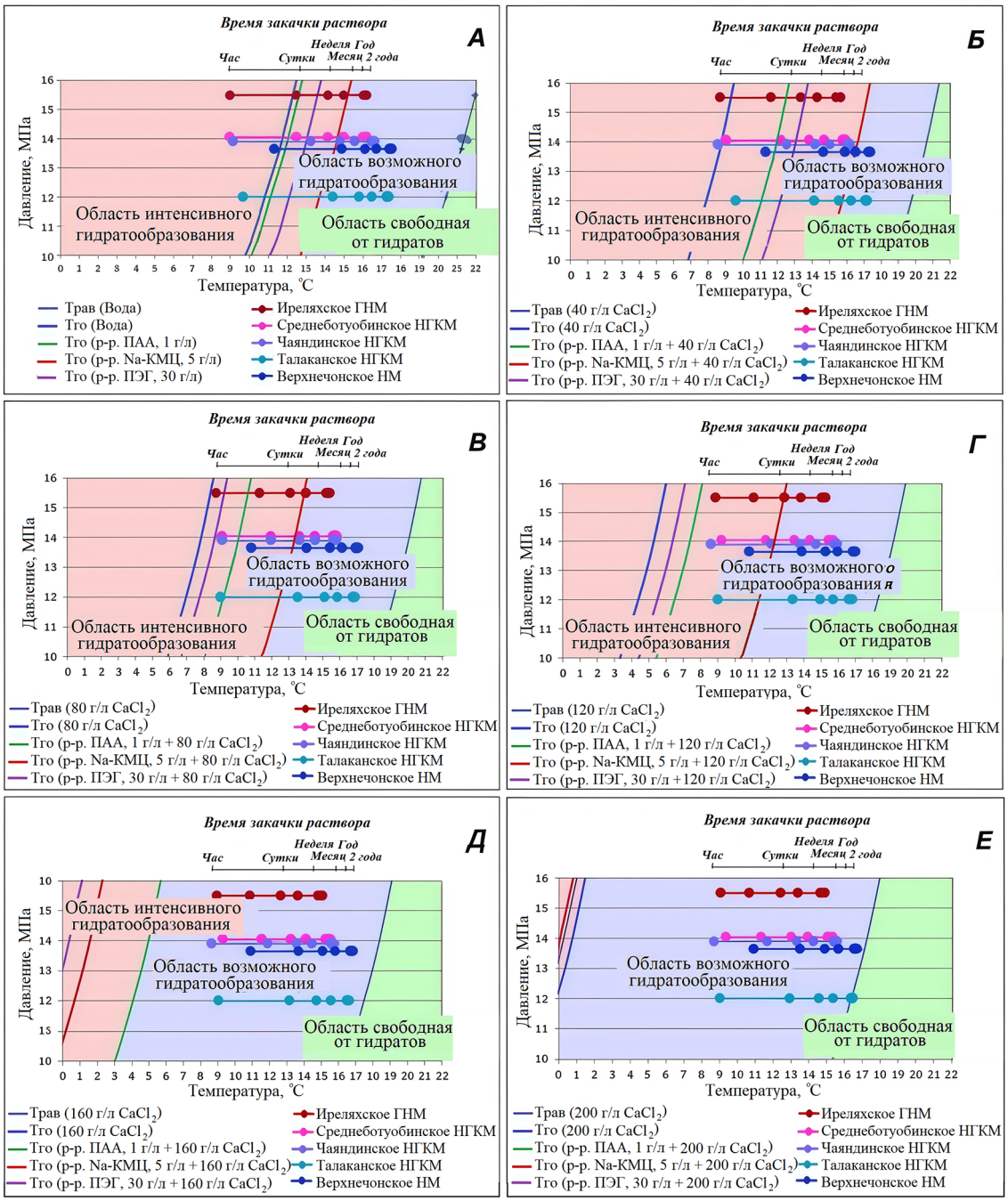


Рис. 3. Термобарические условия гидратообразования в зависимости от температуры, продолжительности закачки и концентрации раствора, где А – растворы полимеров, Б–Е – смесь растворов полимеров с раствором $CaCl_2$ (общая минерализация смеси равнялась Б – 40 г/л, В – 80 г/л, Г – 120 г/л, Д – 160 г/л и Е – 200 г/л)
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Ранее, в работах [20, 21] были изучены степени переохлаждения при образовании гидратов природного газа в песчаных образцах, насыщенных водой, растворами полимеров и их смесями с раствором хлорида кальция и нефтью, а также были определены условия, при которых происходила нуклеация частиц гидрата (*T*го) во всех исследуемых системах. И на основе этих данных были получены зависимости температур образования гидратов, равновесных температур гидратообразования и температур закачиваемого раствора в призабойной зоне от давления и продолжительности закачки растворов (рис. 3).

На рис. 3 показано, что условия начала образования гидратов и равновесные условия их образования делят область построения графика на три части: левее кривой образования гидратов находится область интенсивного гидратообразования, между кривыми образования гидратов и их равновесными условиями – область возможного образования гидратов, а правее кривой равновесных условий –свободная от гидратов область.

Установлено, что с увеличением продолжительности закачки растворов происходит рост температуры закачиваемых растворов в призабойной зоне нагнетательных скважин (рис. 3, А).

Показано, что температуры закачиваемых растворов при пластовом давлении для всех рассматриваемых месторождений находятся в области стабильности гидратов природного газа вне зависимости от продолжительности их закачки. При этом термобарические условия, соответствующие первому часу закачки воды, находятся в области интенсивного образования гидратов для всех рассматриваемых месторождений нефти. Более продолжительная закачка водного раствора приводит к повышению температуры в призабойной зоне скважины, что смещает термобарические условия в область возможного образования гидратов. Условия образования гидратов из растворов полимеров расположены в области более высокой температуры относительно кривой образования гидратов из воды, что характеризует их как промоторов гидратообразования.

Раствором с наиболее выраженными промотирующими свойствами в данном случае является раствор ПАА (1 г/л), где в область интенсивного гидратообразования попадают термобарические условия, характерные для времени закачки этого раствора в течение месяца на Иреляхском ГНМ, недели – на Среднеботуобинском НГКМ, дня – на Чаяндинском НГКМ, и в течение часа – на Талаканском НГКМ и Верхнечонском НМ. При этом на начальном этапе воздействия на пласт вероятность образования газогидратов возрастает в ряду: вода – р-р Na-КМЦ (5 г/л) – р-р ПЭГ (30 г/л) – р-р ПАА (1 г/л).

Расчет условий образования гидратов природного газа в растворах хлорида кальция в диапазоне концентраций от 40 до 200 г/л (рис. 3, Б–Е), а также в их смесях с растворами полимеров с аналогичным содержанием соли показал, что с ростом концентрации соли происходит смещение условий гидратообразования и равновесных условий по температурной шкале в область низких температур, при незначительном снижении температур закачиваемых растворов, что приводит к смещению термобарических условий в призабойной зоне нагнетательных скважин из области интенсивного гидратообразования в область возможного образования гидратов для всех рассмотренных систем, что не устраняет риски образования гидратов в призабойной зоне.

Внесение в систему с Na-КМЦ соли приводит к смещению условий гидратообразования в область высоких температур на 1,6 °С, что можно объяснить увеличением вязкости раствора при взаимодействии с солью в результате образования в этой среде кальциевой соли карбоксиметилцеллюлозы. Дальнейшее увеличение концентрации соли в системе приводит к возвращению условий гидратообразования в область низких температур.

Таким образом, показано, что добавление соли в реакционную систему приводит к снижению вероятности образования гидратов в призабойной зоне нагнетательных скважин за счет смещения термобарических условий из области интенсивного гидратообразования в область их возможного образования, кроме системы с растворами Na-КМЦ, где при минимальном рассмотренном содержании соли происходит смещение условий гидратообразования в область высоких температур на 1,6 °С, что указывает на промотирующие свойства соли в этой системе при ее низких концентрациях. В других рассмотренных системах такого эффекта не наблюдалось.

Далее были рассчитаны температуры добываемой нефти на устье добывающих скважин. Расчет проводился так же как и для закачки растворов вытеснения в пласт по формуле Намиота, однако исходные данные для расчета были изменены, так как при расчете учитывалось противоположное изменение температуры с глубиной при подъеме жидкости за счет изменения знака геотермического градиента (табл. 2).

Показано, что при продвижении к поверхности температура добываемой ВНЭ снижается (рис. 4). При этом, по мере снижения мощности ММП в ряду рассматриваемых месторождений и с ростом продолжительности непрерывной добычи нефти из скважины, температура добываемой нефти на устье добывающих скважин увеличивается.

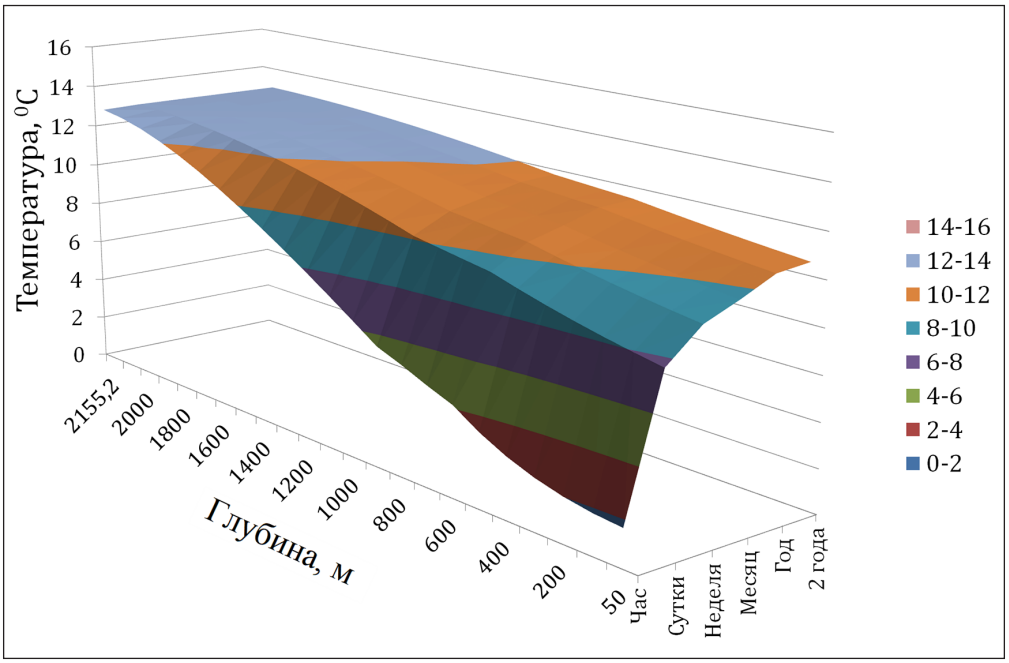


Рис. 4. Характерная зависимость температуры добываемой ВНЭ на устье добывающей скважины от глубины и продолжительности закачки на примере Иреляхского ГНМ
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Также на температуру добываемой жидкости на устье скважины влияет продолжительность непрерывной добычи. Так, например, в первые часы добычи жидкости на Иреляхском ГНМ (рис. 4), где мощность ММП достигает 700 м, температура добываемой жидкости снижается до 1,7 ºС, через сутки температура составляет 7,7 ºС, через неделю – 9,1 ºС, через месяц – 9,7 ºС, через год – 10,4 ºС и через 2 года – 10,6 ºС.

Установлено, что температура добываемой жидкости на 7,1–4,5 °С ниже, чем температура закачиваемого в пласт раствора, где с увеличением мощности ММП разница температур увеличивается. Вследствие чего можно предположить, что вероятность образования гидратов при добыче нефти выше, чем при закачке растворов в пласт.

Для определения возможности образования гидратов природного газа на устье добывающих скважин при добыче нефти, по полученным данным степени переохлаждения систем «природный газ – вода / раствор полимера – песок – нефть» и «природный газ – вода / раствор полимера – песок – раствор хлорида кальция – нефть» [21] были построены зависимости температур гидратообразования, равновесных температур гидратообразования и температур добываемой ВНЭ на устье скважины от давления и продолжительности добычи (рис. 5). Давление на устье скважины принималось равным пластовому.

Видно, что при добыче жидкости, состоящей из ВНЭ с соотношением массовых частей нефти к воде (растворам полимеров) равным 20/80, термобарические условия на устье скважины находятся в области интенсивного образования гидратов. При этом растворы полимеров в смеси с нефтью проявляют свойства кинетического ингибитора, так как их кривые образования гидратов находятся в области низких температур относительно кривой образования гидратов в ВНЭ, полученной из воды.

При добавлении в исследуемые системы хлорида кальция происходит смещение условий гидратообразования и равновесных условий в область низких температур, однако увеличение концентрации соли до 200 г/л приводит к переходу термобарических условий на устье скважин в область вероятного образования гидратов при продолжительности непрерывной добычи более суток для Талаканского и Верхнечонского месторождений, более недели для Чаяндинского и Среднеботуобинского НГКМ и более месяца для Иреляхского ГНМ. При этом с ростом концентрации соли растворы ПАА выступают в роли промоторов, а растворы Na-КМЦ и ПЭГ – ингибиторов гидратообразования.

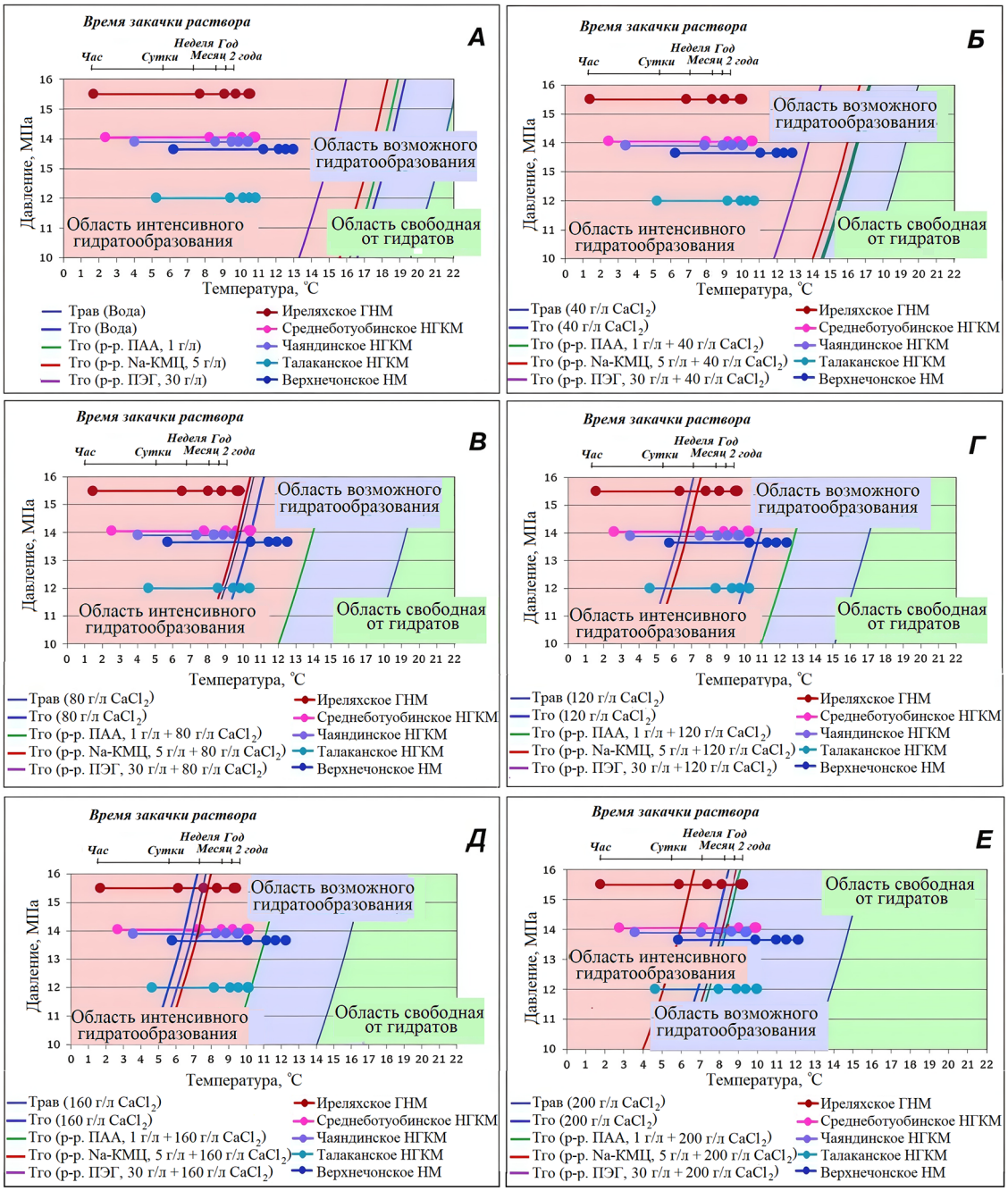


Рис. 5. Термобарические условия гидратообразования в зависимости от температуры, продолжительности добычи и концентрации раствора, где А – растворы полимеров, Б–Е – смесь растворов полимеров с раствором $CaCl_2$ (общая минерализация смеси равнялась Б – 40 г/л, В – 80 г/л, Г – 120 г/л, Д – 160 г/л и Е – 200 г/л)
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Таким образом, показано, что при добыче нефти в виде ВНЭ риски образования гидратов природного газа на устье добывающих скважин выше, чем при закачке полимерных растворов в пласт, несмотря на то, что нефть является сильным кинетическим ингибитором образования гидратов природного газа.

Заключение

Изучение температур закачиваемых растворов и добываемой жидкости в призабойной зоне нагнетательных и на устье добывающих скважин показало, что температура в первую очередь зависит от мощности ММП и времени воздействия, где с уве-

личением мощности ММП и уменьшением времени воздействия, температура растворов снижается. При этом температура добываемой жидкости на 4,5–7,1 ºС ниже, чем температура закачиваемого в пласт раствора, что увеличивает вероятность образования газогидратов. Наличие соли в добываемой жидкости смещает условия образования гидратов в область низких температур, однако даже при минерализации добываемой жидкости равной 200 г/л термобарические условия на устье скважины в начале процесса добычи соответствуют условиям интенсивного образования гидратов.

Таким образом, на нефтяных месторождениях восточной части Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области, расположенных в зоне распространения ММП, необходимо применять ингибиторы гидратообразования на начальных этапах закачки растворов в пласт и проводить противогидратные мероприятия при добыче нефти.

Список литературы

1. Шац М.М. Современная динамика многолетнемерзлых пород: основные причины и геомониторинг // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2019. № 2 (158). С. 7–14. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41579279 (дата обращения: 04.07.2025). EDN: PKPCXN.

2. Vidal F., Saas L. Fragmented Arctic science: Permafrost as a salient feature in the divergence between geopolitical and chronopolitical perspectives // Polar Science. 2025. Vol. 44. 101207. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1873965225000441 (дата обращения: 12.08.2025). DOI: 10.1016/j.polar.2025.101207.

3. Пудакова В.Е., Афанасенко В.Г., Рубцов А.В. Гидратообразование в нефтегазовой отрасли и методы борьбы с ним // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. Вып. 11. С. 306–311. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/gidratoobrazovanie-v-neftegazovoy-otrasli-i-metody-borby-s-nim (дата обращения: 09.07.2025).

4. Gizatullin R., Dvoynikov M., Romanova N., Nikitin V. Drilling in gas hydrates: managing gas appearance risks // Energies. 2023. № 16. 2387. URL: https://www.mdpi.com/1996-1073/16/5/2387 (дата обращения: 09.07.2025). DOI: 10.3390/en16052387.

5. Губайдуллин М.Г., Макарский Н.А., Янгиров И.В. Исследования термического режима мерзлых пород, находящихся под тепловым воздействием нефтедобывающей инфраструктуры // Arctic Environmental Research. 2015. № 2. С. 13–21. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24098187 (дата обращения: 10.07.2025). EDN: UHIWBL.

6. Кудряшов Б.Б., Яковлев А.В. Бурение скважин в мерзлых породах. М.: Недра, 1983. 286 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-burenie-skvazhin-v-merzlyh-porodah.pdf (дата обращения: 10.07.2025).

7. Квеско Н.Г., Квеско Б.Б. Ингибиторная защита оборудования от гидратообразования на газовых месторождениях Восточной Сибири // Евразийский союз ученых (ЕСУ). 2015. № 8 (17). С. 94–97. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/inigibitornaya-zaschita-oborudovaniya-ot-gidratoobrazovaniya-na-gazovyh-mestorozhdeniyah-vostochnoy-sibiri (дата обращения: 11.07.2025).

8. Acharya T., Pierce K., White M. Natural gas hydrates: a review of formation, and prevention/mitigation in subsea pipelines // Advanced Science, Engineering and Medicine. 2019. Vol. 11, Is. 6. P. 453–464. URL: https://www.ingentaconnect.com/content/asp/asem/2019/00000011/00000006/art00001 (дата обращения: 14.07.2025). DOI: 10.1166/asem.2019.2384.

9. Wu X., Qin M., Liao K., He G., He T., Tian Zh. Risk prediction of natural gas hydrate formation in subsea wet gas pipelines with monoethylene glycol injection // Journal of Cleaner Production. 2025. Vol. 518. 145907. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652625012570 (дата обращения: 11.07.2025). DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.145907.

10. Yusuf M., Beg M., Kamyab H., Muzammil K., Ahmad M., Gupta M., Kumar S., Rezania S., Ibrahim H. Natural gas hydrates: A review of various inhibitors and respective mechanisms // Journal of Molecular Liquids. 2024. Vol. 403. 124809. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732224008651 (дата обращения: 15.07.2025). DOI: 10.1016/j.molliq.2024.124809.

11. Бондарев Э.А., Рожин И.И., Аргунова К.К. Особенности математического моделирования систем добычи и транспорта природного газа в арктической зоне России // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 705–716. URL: https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/11498?setLocale=ru_RU (дата обращения: 11.07.2025). DOI: 10.25515/PMI.2017.6.705.

12. Кусов Б.Р. Причины аномально низких термобарических параметров некоторых залежей УВ в Восточной Сибири // Недропользование XXI век. 2014. № 4 (48). С. 78–80. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=22506695 (дата обращения: 16.07.2025). EDN: SYNJHD.

13. Косачук Г.П., Буракова С.В., Мельникова Е.В., Усенко А.Ю. Оценка факторов, влияющих на начальные термобарические условия Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения // Вести газовой науки. 2016. № 2 (26). С. 19–27. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-faktorov-vliyayuschih-na-nachalnye-termobaricheskie-usloviya-chayandinskogo-neftegazokondensatnogo-mestorozhdeniya (дата обращения: 15.07.2025).

14. Некрасов И.А. Криолитозона северо-востока и юга Сибири и закономерности ее развития. Якутск: Якутское книжное издательство, 1976. 244 с. [Электронный ресурс]. URL: https://e.nlrs.ru/open/111359 (дата обращения: 17.07.2025).

15. Готовцев С.П., Климовский И.В. О геокриологической изученности южной части Западной Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики 2020. № 25 (2). С. 81–86. URL: https://resar.elpub.ru/jour/article/view/231 (дата обращения: 17.07.2025). DOI: 10.31242/2618-9712-2020-25-2-6.

16. Намиот А.Ю. К вопросу об изменении температуры по стволу нефтяной или газовой скважины // Труды ВНИИ. Сер. «Разработка нефтяных месторождений и гидродинамика пласта». М.: Гостоптехиздат, 1956. Вып. 8. С. 53–58.

17. Чоловская И.Д. Распределение температуры в стволе скважины и в пласте при циклическом нагнетании в них рабочих агентов: автореф. дис. … канд. техн. наук. Москва: Всерос. нефтегазовый науч.-исслед. ин-т им. А.П. Крылова, 2002. 28 с. [Электронный ресурс]. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01003232006 (дата обращения: 29.07.2025).

18. Рузин Л.М. Разработка нефтяных месторождений с применением теплового воздействия на пласт: метод. Указания. Ухта: УГТУ, 2009. 39 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-ruzin-lm-razrabotka-neftyanyh-mestorozhdeniy.pdf (дата обращения: 30.06.2025).

19. Калачева Л.П., Федорова А.Ф., Портнягин А.С. Изучение влияния минерализации модельной пластовой воды хлоркальциевого типа на процессы образования и разложения гидратов природного газа // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 6(4). С. 719–722. URL: https://applied-research.ru/ru/article/view?id=9683 (дата обращения: 12.07.2025). EDN: WAPDNV.

20. Портнягин А.С., Калачева Л.П., Иванова И.К. Изучение процессов образования гидратов природного газа в системах «пластовая вода – пористая среда – раствор полимера» по данным дифференциального термического анализа // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2022. Т. 17. № 4. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=50042932 (дата обращения: 22.07.2025). DOI: 10.17353/2070-5379/35_2022.

21. Портнягин А.С., Иванова И.К., Калачева Л.П., Портнягина В.В. Изучение процессов образования гидрата природного газа в пористой среде из смеси растворов полимеров с нефтью // Химия и технология топлив и масел. 2023. № 4 (638). С. 24–28. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54603247 (дата обращения: 22.07.2025). DOI: 10.32935/0023-1169-2023-638-4-24-28.

УДК 556.5.072
DOI 10.17513/use.38434

ГЛОБАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НАВОДНЕНИЙ: ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕАНАЛИЗ

[1]Федоровский А.С., [2]Кролевецкая Ю.В.

[1]ФГБУ «Дальневосточное отделение Российской академии наук», Владивосток, e-mail: as.fedorovskiy@mail.ru;

[2]ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал, Владивосток

Решение проблемы отсутствия данных наблюдений за стоком рек в последнее время связывается с применением глобальных гидрологических моделей для его восстановления. Цель исследования – рассмотреть основные принципы работы, недавно созданной за рубежом, Глобальной системы предупреждения наводнений (Global Flood Awareness System) по генерации гидрологического реанализа, проанализировать оценку точности моделируемого стока, включая некоторые реки в Российской Федерации. В основе системы лежит полуавтоматическая процедура калибровки крупномасштабной гидрологической модели, реализованная с использованием наблюдений за расходами воды рек по всему миру и реанализа атмосферы в качестве входных метеоданных. На начало 2025 года разработаны четыре основные версии реанализа, воспроизводящие средние суточные расходы воды с 1979 года по настоящее время на реках с площадью водосбора от 500 км^2. Наиболее высокие оценки качества моделирования, в соответствии с показателем Клинга – Гупты, у четвертой версии реанализа. Для всех использованных бассейнов медианное значение показателя составляет 0,74 с межквартильным размахом от 0,46 до 0,85. На территории Российской Федерации для 114 из 124 створов, использованных для оценки, значения показателя превышают 0,6. Качество гидрологического моделирования улучшилось в этой версии, в том числе за счет более высокого пространственного разрешения (около 5 км), тогда как в предыдущих версиях использовалась сетка с шагом около 10 км. Улучшена структура и выполнено распараллеливание процедур в гидрологической модели. В целом система эффективна в 86% водосборов по всему земному шару в соответствии с показателем Клинга – Гупты. Однако эффективность значительно варьируется в зависимости от местоположения, поэтому требуется тестирование данных реанализа стока перед практическим применением.

Ключевые слова: водосбор, речной сток, гидрологический реанализ, климатический реанализ, моделирование речного стока

GLOBAL FLOOD AWARENESS SYSTEM: HYDROLOGICAL REANALYSIS

[1]Fedorovskiy A.S., [2]Krolevetskaya Yu.V.

[1]Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: as.fedorovskiy@mail.ru;

[2]Russian Research Institute for Complex Use and Protection of Water Resources, Far Eastern Branch, Vladivostok

The solution to the problem of a lack of river flow observations has recently been associated with the use of global hydrological models to restore runoff (hydrological reanalysis). The purpose of the study is to examine the basic principles of operation of the Global Flood Awareness System, recently established abroad, for generating hydrological reanalysis and to analyze estimates of the accuracy of river discharges modeled, including some rivers in the Russian Federation. The system is based on a semi-automatic calibration procedure for a large-scale hydrological model, implemented using river observations worldwide and atmospheric reanalysis as input weather data. At the beginning of 2025, four main versions of the reanalysis have been developed, generating the daily discharges from 1979 to the present on rivers with a watershed area of 500 km^2 or more. Performance is best, according to the Kling-Gupta indicator, in the fourth version of the reanalysis. For all watersheds used, the median value of the indicator is 0.74 with an interquartile range from 0.46 to 0.85. In the territory of the Russian Federation, for 114 of the 124 sites used for the assessment, the indicator values exceed 0.6. The quality of hydrological modeling has improved, including due to higher spatial resolution (about 5 km), whereas in previous versions a grid with a step of about 10 km was used. Also, the structure has been improved and procedures have been parallelized in the hydrological model. Overall, the system is effective in 86% of watersheds around the globe, according to the Kling-Gupta indicator. However, the effectiveness varies significantly depending on the location, so testing of reanalysis data is required before practical application.

Keywords: watershed, river discharges, hydrological reanalysis, climate reanalysis, river flow modeling

Введение

Проблема недостаточности или отсутствия данных по стоку рек является ключевой при решении большинства водохозяйственных задач. Решение этой проблемы в последнее время связывается с применением глобальных гидрологических моделей для восстановления рядов речного стока за длительный исторический период (гидрологический реанализ) [1-3]. Не-

смотря на значительный прогресс в этом направлении, существуют значительные расхождения между рассчитанными и наблюденными расходами воды рек, которые связаны в основном с пространственным разрешением и качеством входных метеорологических данных, недоучетом или существенным упрощением ряда моделируемых гидрологических процессов, влиянием хозяйственной деятельности [4]. Разработанная недавно за рубежом Глобальная система предупреждения наводнений (Global Flood Awareness System – GloFAS) во многом лишена этих недостатков [5; 6].

В основе GloFAS лежит полуавтоматическая процедура калибровки крупномасштабной гидрологической модели LISFLOOD, реализованная с использованием базы данных наблюденных расходов воды рек по всему миру и реанализа атмосферы ERA5 [7] в качестве входных метеоданных. Кроме основной задачи по прогнозированию речного стока, которая находится за рамками настоящей статьи, откалиброванная модель генерирует непрерывный многолетний ряд ежедневных расходов воды, называемый далее реанализ GloFAS-ERA5, в реках площадью от 500 км^2 (в версии системы v4) с практически глобальным пространственным охватом [5].

Цель исследования – рассмотрение основных принципов работы системы GloFAS по генерации средних суточных расходов воды рек, краткий анализ точности оценок стока, включая территорию Российской Федерации, а также привлечение внимания специалистов по тестированию данных реанализа стока и использованию его для решения прикладных задач.

Материалы и методы исследования

В основе работы лежат зарубежные статьи, опубликованные разработчиками системы GloFAS, описывающие принципы работы системы, методы оценки ее эффективности на основе сопоставления рассчитанных расходов воды с наблюденными на реках по всему миру. Также использованы самые актуальные данные, полученные с официальных порталов системы GloFAS (www.globalfloods.eu; https://ewds.climate.copernicus.eu), ее основного заказчика: Службы управления чрезвычайными ситуациями Copernicus (Copernicus Emergency Management Service – CEMS) (https://emergency.copernicus.eu), и другие сведения о системе GloFAS, опубликованные в сети Интернет.

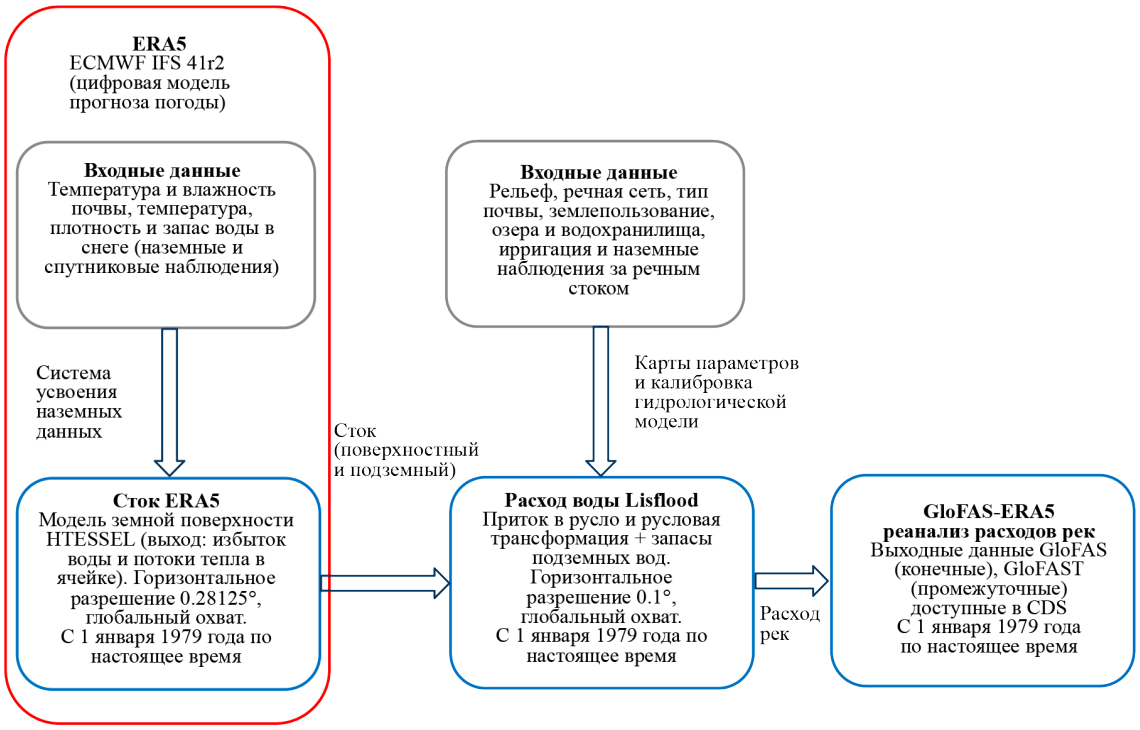
Результаты исследования и их обсуждение

Глобальная система предупреждения наводнений GloFAS осуществляет оперативный мониторинг и прогнозирование наводнений по всему миру. Система генерирует большой объем данных, в том числе реанализ речного стока за длительный период, прогнозы наводнений, сезонные прогнозы и другие данные [5; 6]. Она постоянно совершенствуется, в связи с чем появляются различные ее версии. Система GloFAS v1.0 была введена в эксплуатацию в марте 2018 г. в тестовом режиме, став полностью работоспособной и поддерживаемой круглосуточно в апреле 2018 г. В ноябре 2018 г. GloFAS обновлена до версии 2.0. В мае 2021 г. введена в эксплуатацию версия 3.1. Далее выпуски следовали примерно по две версии в год. На начало 2025 года актуальна версия 4.3 [8].

Реанализ речного стока GloFAS-ERA5 представляет собой опорный набор (ряд) средних суточных расходов воды, восстановленных (моделированных) с 1979 по начало 2025 года (на текущий момент). Эти данные используются для дальнейших расчетов и прогнозов речного стока, а также могут применяться самостоятельно. Данные покрывают территорию суши Земли, за исключением Антарктиды, с разрешением горизонтальной сетки, в зависимости от версии, от 0,1° (приблизительно 11 км на экваторе) до 0,05° (приблизительно 5 км на экваторе) и охватывают период с 1 января 1979 года до настоящего времени с задержкой в 2–5 дней. Моделированные данные представляют собой средние суточные расходы воды (м^3/с) в реках по всему миру. Один файл содержит средний расход воды за сутки во всех анализируемых реках. Новый, существенно обновленный набор данных гидрологического реанализа GloFAS-ERA5 v4, включает ежедневные карты расходов воды по всему миру с разрешением сетки 0,05° [8].

Реанализ речного стока создается путем объединения модели стока воды на поверхности суши, входящей в состав реанализа климата ERA5 [7], с гидрологической русловой моделью LISFLOOD [9]. Схема ключевых компонентов в подготовке реанализа GloFAS-ERA5 v2.1 представлена на рисунке.

Реанализ климата ERA5 генерируется моделью ECMWF IFS 41r2, принадлежащей Службе по изменению климата Copernicus (Copernicus Climate Change Service – C3S) [10].



Основные компоненты системы GloFAS-ERA5 v2.1
Источник: составлено авторами на основе источника [5]

В рамках проекта ERA5 генерируется реанализ, который включает ежечасные выходные данные с задержкой в несколько дней, что позволяет с ноября 2018 года моделировать речной сток в оперативном режиме с задержкой от 2 до 5 суток. Сток в системе ERA5 рассчитывается на основе модели земной поверхности (Hydrology Tiled ECMWF Scheme for Surface Exchanges over Land – HTESSEL). HTESSEL вычисляет потоки тепла и влаги на поверхностности суши, изменение температуры и влажности почвы, а также высоту снежного покрова. В каждой ячейке сетки ERA5 превышение количества воды, поступающей в виде дождя и/или снеготаяния, над впитыванием воды в почву формирует поверхностный сток, остальная часть просачиваются в четырехслойную почвенную колонку [11].

Пространственно распределенная частично физически обоснованная гидрологическая модель речного стока LISFLOOD разработана в Объединенном исследовательском центре Европейской комиссии (JRC). Наборы пространственных данных, используемые в LISFLOOD, включают топографические характеристики (цифровую модель рельефа, местное направление стока, уклон и другие), характер землепользования (классы землепользования, долю леса, долю городской территории), свойства почвы (классы текстуры и мощность) и параметры русла (длина, уклон, коэффициент шероховатости, ширина по дну, наклон бортов, глубина при наполненном русле). Большинство входных данных, параметров и переменных, необходимых для модели, оцениваются на основе опубликованных данных [12].

Подземный сток, рассчитанный в модели HTESSEL, используется в качестве входа в модуль подземных вод LISFLOOD, в котором имитируются две области (зоны) стока в виде двух параллельных линейных резервуаров, формирующих приток подземных вод в реки с задержкой по времени. Верхняя зона представляет собой «быстрый» подземный сток, в то время как нижняя зона – «медленный» сток из более глубоко залегающих подземных горизонтов и формирующих базовый устойчивый приток в реки. Параметр, отвечающий за время добегания вод из верхней зоны, постоянен и по умолчанию составляет 10 суток, однако возможно его изменение во время калибровки от 3 до 40 суток. Параметр, регулирующий время добегания вод из нижней зоны, по умолчанию равен 200 суткам, он также может изменяться во время калибровки от 40 до 500 суток.

Поверхностный сток, моделируемый в HTESSEL, поступает на вход модуля трансформации стока руслом модели LISFLOOD. Это двухэтапный процесс, при котором поверхностный сток из каждой ячейки расчетной сетки сначала направляется в нижележащую ячейку русла реки, затем суммарный приток воды трансформируется руслом с использованием уравнения кинематической волны. Параметры, регулирующие приток поверхностных и подземных вод, русловую трансформацию стока, подбираются в результате калибровки, исходя из условия наилучшего совпадения рассчитанного стока с наблюденным расходом воды в реках по всему миру. Подробности структуры модели LISFLOOD, используемой в GloFAS-ERA5, и ее калибровка детально описаны в работе [12].

Для оценок точности воспроизведения средних суточных расходов воды рек использовано около 2000 станций наблюдений за речным стоком по всему миру. Около 60% речных бассейнов имеют площадь от 10 000 до 50 000 км^2 [5; 6; 8]. При оценке качества моделирования речного стока чаще всего используется показатель Клинга – Гупты (Kling-Gupta Efficiency – KGE) [13; 14]. Он комплексно учитывают динамику стока, в том числе временные сдвиги через корреляцию, изменчивость стока через отношение стандартов и смещение на уровне средних между наблюденными и моделированными расходами воды. Оптимальное значение KGE равно 1. Общие закономерности пространственного распределения показателей оценивались с использованием кумулятивной функции распределения (Cumulative distribution function – cdf), позволяющей рассчитать медианные значения, межквартильный размах (Interquartile range – IQR) и другие характеристики показателей качества моделирования стока [12; 13].

В таблице 1 приведены значения KGE двух наиболее различающихся по качеству моделирования версий v2.1 и v4.0. Наиболее высокие оценки качества моделирования у реанализа речного стока GloFAS-ERA5 v4.0 [8]. Для всех бассейнов медианное значение KGE составляет 0,74 с межквартильным размахом (IQR) от 0,46 до 0,85. В ранней версии системы медианное значение KGE составляет 0,31 и IQR от 0 до 0,52. Это говорит о значительном улучшении качества гидрологического моделирования в версии 4.0 за счет более высокого пространственного разрешения (около 5 км), изменений в структуре модели и вычислительных процедурах, увеличения качества калибровки параметров.

Во всех версиях наилучшие результаты получены в Бразилии (особенно в бассейне Амазонки), Центральной Европе, в Восточных и Западных регионах США, Южной Африке и на реках побережья Австралии. Значительные области Северной Африки, стран Ближнего Востока, Австралии, Монголии, практически вся территория КНР не охвачены оценками системы GloFAS-ERA5 v4.0 [8]. Территория Российской Федерации, на которой использовано около 124 гидрометрических створов (ГС), характеризуется высокими показателями KGE (табл. 2).

Как видно из таблицы 2, для примерно 92% створов значения KGE превышают 0,6. Наибольшее количество створов, причем с KGE 0,6–0,8, приходится на реки Обь, Иртыш, Енисей, Ангара, Лена и Колыма. В бассейне реки Амур использовано только 5 створов. На Европейской территории Российской Федерации, на которую приходится 29 пунктов из 124, 52% водосборов имеют KGE более 0,8. Низкие значения, менее 0,6, характерны для зарегулированных рек.

Таблица 1

Значения кумулятивной функции распределения (cdf) показателей KGE всех станций

cdf	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,9
v2.1	-0,86	-0,16	0	0,09	0,22	0,31	0,40	0,48	0,52	0,57	0,69
v4.0	-0,08	0,38	0,46	0,55	0,65	0,74	0,78	0,83	0,85	0,88	0,92

Источник: составлено авторами на основе источников [5; 8].

Таблица 2

Значения показателей KGE для гидрометрических створов (ГС) Российской Федерации

KGE	0,8–1	0,6–0,8	0,4–0,6	0,2–0,4	0,4–0,6
ГС, %	71,8	20,2	4	3,2	0,8

Источник: составлено авторами на основе источников [5; 8].

Почти 99% исследованных водосборов земного шара показывают положительную корреляцию между наблюденными и моделированными расходами воды с медианным значением r = 0,61. В Российской Федерации преобладают коэффициенты корреляции от 0,4 до 0,6 (47,9%). Наиболее высокие r (0,6–0,8 и более 0,8) составляют, соответственно, 29,0 и 11,1%, а низкие (0,2–0,4) – 12% водосборов.

В целом для 64% водосборов значения рассчитанных средних расходов воды меньше наблюденных, то есть отношение расходов, называемое коэффициентом смещения (bias ratio), $\beta < 1$. Медианное значение $\beta = 0{,}84$. При глобальной оценке стока рек смещение в пределах ±20% (эквивалентное коэффициенту смещения в пределах 0,8–1,2) считается очень хорошим. Однако только 28% станций реанализа v2.1 соответствуют этому критерию [5]. Преувеличенный по сравнению с наблюдениями сток характерен для некоторых рек Центральной части США, Африки, Восточной Бразилии, а также Западного побережья Южной Америки. В общей сложности 12% водосборов имеют $\beta > 2$ (т. е. ошибка расчета > 100%). На территории Российской Федерации средний сток в пределах ±20% от наблюденного (β = 0,8–1,2) отмечен примерно для 40% водосборов, участвующих в оценках. Средний сток недооценивается примерно в 54%, а переоценивается – в 6% водосборов, причем преувеличение стока более 60% не встречается.

Для 61% исследованных водосборов земного шара характерна более низкая изменчивость стока реанализа, чем наблюденного стока (т. е. коэффициент вариации $\alpha < 1$). Глобальный медианный коэффициент α = 0,91. Эта тенденция сохраняется и для территории Российской Федерации. Так, около 58% водосборов имеет $\alpha < 0{,}8$. Оптимальные его значения (0,8–1,2) отмечаются на 32% водосборов.

В целом медианное значение абсолютной ошибки (MAE) оценки стока составляет 0,41 мм/сут. Для территории Российской Федерации MAE суточного стока более 0,4 и 0,6 мм/сут. имеют, соответственно, 43 и 78% водосборов. Ошибок более 1,2 мм/сут. не отмечено [5; 8].

Анализ причин ошибок моделирования стока пока не выполнен, однако предварительные исследования показали, что ошибки в расчетах стока во многом определяются проблемами ассимиляции наземных данных, недостаточным учетом влияния на сток озер и водохранилищ, а также проблемами точности реанализа ERA5 [4; 15].

Заключение

Система GloFAS позволяет оценивать средний суточный сток рек без гидрометрических наблюдений с приемлемой для практики точностью, создавая непрерывный ряд стока за период с 1979 года по настоящее время, причем этот ряд постоянно пополняется в автоматическом режиме и доступен для использования. Выпущено четыре основные версии системы. Наиболее высокие оценки качества моделирования демонстрирует реанализ речного стока GloFAS-ERA5 v4. Однако качество моделирования (точность расчета стока) значительно изменяется в зависимости от местоположения, что требует тестирования данных реанализа стока перед практическим использованием.

Список литературы

1. Doll P., Kaspar F., Lehner B. A Global Hydrological Model for Deriving Water Availability Indicators: Model Tuning and Validation // Journal of Hydrology. 2003. Vol. 270. Is. 1-2. P. 105–134. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169402002834 (дата обращения: 25.07.2025). DOI: 10.1016/S0022-1694(02)00283-4.

2. Lin P., Pan M., Beck H.E., Yang Y., Yamazaki D., Frasson R., David C.H., Durand M., Pavelsky T.M., Allen G.H., Gleason C.J., Wood E.F. Global Reconstruction of Naturalized River Flows at 2.94 Million Reaches // Water Resources Research. 2019. Vol. 55. Is. 8. P. 6499–6516. URL: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2019WR025287 (дата обращения: 27.07.2025). DOI: 10.1029/2019WR025287.

3. Wongchuig S.C., de Paiva R.C.D., Siqueira V., Collischonn W. Hydrological Reanalysis Across the 20th Century: A Case Study of the Amazon Basin // Journal of Hydrology. 2019. Vol. 570. P. 755–773. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169419300915 (дата обращения: 25.07.2025). DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.01.025.

4. Beck H.E., van Dijk A. I.J.M., de Roo A., Dutra E., Fink G., Orth R., Schellekens J. Global Evaluation of Runoff from 10 State-of-the-Art Hydrological Models // Hydrology and Earth System Sciences. 2017. Vol. 21. Is. 6. P. 2881–2903. URL: https://hess.copernicus.org/articles/21/2881/2017/ (дата обращения: 22.07.2025). DOI: 10.5194/hess-21-2881-2017.

5. Harrigan S., Zsoter E., Alfieri L., Prudhomme C., Salamon P., Wetterhall F., Barnard C., Cloke H., Pappenberger F. GloFAS-ERA5 Operational Global River Discharge Reanalysis 1979–present // Earth System Science Data. 2020. Vol. 12. P. 2043–2060. URL: https://essd.copernicus.org/articles/12/2043/2020/ (дата обращения: 25.07.2025). DOI: 10.5194/essd-12-2043-2020.

6. Alfieri L., Lorini V., Hirpa F.A., Harrigan S., Zsoter E., Prudhomme C., Salamon P. A Global Streamflow Reanalysis for 1980–2018 // Journal of Hydrology X. 2020. Vol. 6. № 100049. URL: https://centaur.reading.ac.uk/106801/1/1-s2.0-S2589915519300331-main.pdf (дата обращения: 25.07.2025). DOI: 10.1016/j.hydroa.2019.100049.

7. Tarek M., Brissette F.P., Arsenault R. Evaluation of the ERA5 Reanalysis as a Potential Reference Dataset for Hydrological Modeling Over North-America // Hydrology and Earth System Sciences. Discussions. 2019. P. 1–35. URL: https://hess.copernicus.org/preprints/hess-2019-316/hess-2019-316.pdf (дата обращения: 24.07.2025). DOI: 10.5194/hess-2019-316.

8. Salamon P., Prudhomme C., Baiamonte G., Barnard C., Baugh C., Rodriguez J.C., Casino A., De Wiart C.C., Choulga M., D'Angelo C., Decremer D., Disperati J., Dottori F., Grimaldi S., Hansford E., Harrigan S., Kalas M., Lorini V., Mazzetti C., Moschini F., Ramos A., Russo C., Stoilov D., Tasev D., Thiemig V., Zsoter E. What is New in GloFAS v4.0? // Presentation of report on the 2nd Global Flood Forecasting and Monitoring Meeting, organized by the Copernicus Emergency Management Service (CEMS), took place online on February 8-9, 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://global-flood.emergency.copernicus.eu/media/events/4/what_is_new_in_ glofas_v4.0.pdf (дата обращения: 25.07.2025).

9. van der Knijff J.M., Younis J., de Roo A.P.J. LISFLOOD: a GIS-based Distributed Model for River Basin Scale Water Balance and Flood Simulation // International Journal of Geographical Information Science. February 2010. Vol. 24. Is. 2. P. 189–212. URL: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13658810802549154 (дата обращения: 25.07.2025). DOI: 10.1080/13658810802549154.

10. Albergel C., Dutra E., Munier S., Calvet J.-C., Munoz-Sabater J., de Rosnay P., Balsamo G. ERA-5 and ERA-Interim Driven ISBA Land Surface Model Simulations: Which One Performs Better? // Hydrology and Earth System Sciences. 2018. Vol. 22. Is. 6. P. 3515–3532. URL: https://hess.copernicus.org/articles/22/3515/2018/ (дата обращения: 25.07.2025). DOI: 10.5194/hess-22-3515-2018.

11. Balsamo G., Beljaars A., Scipal K., Viterbo P., van den Hurk B., Hirschi M., Betts A.K. A Revised Hydrology for the ECMWF Model: Verification from Field Site to Terrestrial Water Storage and Impact in the Integrated Forecast System // Journal of Hydrometeorology. June 2009. Vol. 10. Is. 3. P. 623–643. URL: https://www.sci-hub.ru/10.1175/2008JHM1068.1?ysclid=meqb3y1umu707091706 (дата обращения: 27.07.2025). DOI:10.1175/2008JHM1068.1.

12. Hirpa F.A., Salamon P., Beck H.E., Lorini V., Alfieri L., Zsoter E., Dadson S.J. Calibration of the Global Flood Awareness System (GloFAS) Using Daily Streamflow Data // Journal of Hydrology. November 2018. Vol. 566. P. 595–606. URL: https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.jhydrol.2018.09.052?ysclid=meqbhk20dw266389970 (дата обращения: 25.07.2025). DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.09.052.

13. Gupta H.V., Kling H., Yilmaz K.K., Martinez G.F. Decomposition of the Mean Squared Error and NSE Performance Criteria: Implications for Improving Hydrological Modelling // Journal of Hydrology. 2009. Vol. 377. Is. 1–2. P. 80–91. URL: https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003?ysclid=meqc7n6jbj865663003 (дата обращения: 21.07.2025). DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.08.003.

14. Krause P., Boyle D.P., Bäse F. Comparison of Different Efficiency Criteria for Hydrological Model Assessment // Advances in Geosciences. 2005. Vol. 5. P. 89–97. URL: https://adgeo.copernicus.org/articles/5/89/2005/adgeo-5-89-2005 (дата обращения: 25.07.2025). DOI: 10.5194/adgeo-5-89-2005.

15. Zajac Z., Revilla-Romero B., Salamon P., Burek P., Hirpa F. A., Beck H. The Impact of Lake and Reservoir Parameterization on Global Streamflow Simulation // Journal of Hydrology. 2017. Vol. 548. P. 552–568. URL: https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/14478/1/1-s2.0-S0022169417301671-main.pdf (дата обращения: 24.07.2025). DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.03.022.

УДК 551.34:697.1
DOI 10.17513/use.38435

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБОГРЕВА ПОМЕЩЕНИЙ ТЕПЛОТОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВОДЫ

Кузьмин Г.П., Куваев В.А.

ФГБУН Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: eametlaeva@mpi.ysn.ru

Исследования посвящены актуальной проблеме поиска альтернативных источников энергии для отопления помещений. Одним из таких легкодоступных источников является теплота фазовых переходов воды. В работе обобщены результаты длительных экспериментальных исследований теплового взаимодействия опытного помещения, целью которых была разработка методики определения параметров водяного обогревательного устройства. В статье приведены условия испытания опытного объекта: показатели климата площадки проведения экспериментов, размеры и теплофизические характеристики материалов ограждающих конструкций помещения, параметры обогревательного устройства и количества воды. Изложена методика определения основного количества воды, теплота кристаллизации которой компенсирует потери тепла из помещения в окружающую среду. Приведена эмпирическая зависимость вспомогательного количества воды, обеспечивающего необходимую площадь передачи теплоты кристаллизации воды через образующуюся толщу льда в обогреваемое помещение. Предложена усовершенствованная конструкция водяного обогревательного устройства, форма, размеры, количество которого обеспечивают заданный температурный режим помещения и устойчивость действию давления образующегося льда. Длительными испытаниями опытного объекта установлена возможность практического использования теплоты фазовых переходов воды, являющейся возобновляемым источником энергии, для обогрева и даже отопления некоторых видов помещений на большей части территории России. Необходимое количество воды для обогрева помещений до высоких отрицательных температур, близких к 0 ºС, зависит от климатических условий, размеров и термического сопротивления ограждающих конструкций и режима эксплуатации помещения.

Ключевые слова: помещение, теплота, потери, вода, кристаллизация, энергия, фазовый переход

Работа выполнена за счет средств федерального бюджета в рамках проекта «Устойчивость природно-технических систем в криолитозоне и разработка технологий использования криогенных ресурсов», № 122011800076-2.

DETERMINATION OF PARAMETERS OF A DEVICE FOR HEATING ROOMS WITH THE HEAT OF CRYSTALLIZATION OF WATER

Kuzmin G.P., Kuvaev V.A.

Permafrost Institute. P.I. Melnikov Institute of Permafrost Science of the Siberian branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: eametlaeva@mpi.ysn.ru

The research is devoted to the urgent problem of searching for alternative energy sources for space heating. One of such easily accessible sources is the heat of phase transitions of water. The paper summarizes the results of long-term experimental studies of thermal interaction of an experimental room, the purpose of which was to develop a method for determining the parameters of a water heating device. The article presents the conditions for testing the experimental object: climate indicators of the experimental site, the dimensions and thermophysical characteristics of the materials of the enclosing structures of the room, the parameters of the heating device and the amount of water. A method for determining the main amount of water, the heat of crystallization of which compensates for heat loss from the room to the environment is presented. An empirical dependence of the auxiliary amount of water is given, providing the necessary area of transfer of the heat of crystallization of water through the forming thickness of ice into the heated room. An improved design of a water heating device is proposed, the shape, dimensions, and amount of which provide a given temperature regime of the room and resistance to the action of the pressure of the forming ice. Long-term tests of the pilot facility have established the possibility of practical use of the heat of phase transitions of water, which is a renewable energy source for heating and even heating of some types of premises in most of Russia. The required amount of water for heating premises to high negative temperatures, close to 0ºC, depends on climatic conditions, the size and thermal resistance of enclosing structures and the operating mode of the premises.

Keywords: room, heat, losses, water, crystallization, energy, phase transition

The work was carried out at the expense of the federal budget within the framework of the project "Sustainability of natural and technical systems in the cryolithozone and development of technologies for the use of cryogenic resources", No. 122011800076-2.

Введение

Значительные затраты на отопление жилых и производственных помещений в северных районах страны и вредное воздействие на окружающую среду основных источников тепла требуют обоснования и разработки способов использования экономически эффективных и экологически

безопасных возобновляемых источников тепловой энергии. Одним из таких источников энергии являются фазовые переходы воды. По этой теме опубликовано большое количество работ [1–3 и др.]. В ряде публикаций отражены особенности процесса кристаллизации воды и использования выделяемой энергии [4–6]. Технология использования теплоты фазовых переходов воды для решения различных задач удовлетворяет требованиям экологической безопасности [7, с. 19; 8, с. 173].

Ранее проведенными исследованиями [9–11] была показана возможность практического использования теплоты, выделяемой при кристаллизации воды, для обогрева помещений. Количество скрытой теплоты, выделяемой при кристаллизации воды, зависит от площади и интенсивности отвода тепла.

Основными положительными свойствами воды как источника тепла являются:

– возобновляемость тепловой энергии, обусловленной сезонными колебаниями температуры атмосферного воздуха;

– низкая стоимость получаемой тепловой энергии вследствие небольших капитальных и эксплуатационных затрат;

– полное использование выделяемой водой тепловой энергии для обогрева помещений;

– возможность применения технологии обогрева помещений в зимнее время повсеместно, включая малоосвоенные территории;

– экологическая безопасность.

К недостаткам способа обогрева помещений теплотой кристаллизации воды относятся:

– относительно низкая удельная теплота фазового перехода воды (335000 кДж/м^3), вследствие этого обогревательное устройство занимает значительную площадь обогреваемого помещения;

– возможность обогрева помещений теплотой кристаллизации воды только до температуры ниже 0 ºС;

– значительное расширение воды при кристаллизации, приводящее к необходимости использовать обогревательные устройства определенной формы, изготовленные из прочного материала.

Существует ряд видов помещений, в которых допускается высокая отрицательная температура, а при подключении теплового насоса можно получать необходимую положительную температуру в помещении.

В работе рассматривается технология получения в помещении в зимнее время высоких отрицательных температур.

Цель исследования – разработка методики расчета параметров обогревательного устройства помещений, основанного на фазовых переходах воды.

Задачи исследования:

– определение суммарного количества потерь тепла из помещения в окружающую среду в период отопительного сезона;

– определение количества воды, теплота кристаллизации которой равна суммарным потерям тепла из помещения;

– проведение испытаний опытного помещения в режимах «Зарядка» и «Разрядка» водяного обогревательного устройства;

– обработка результатов испытаний и определение вспомогательного количества воды в обогревательном устройстве;

– усовершенствование обогревательного устройства.

Материалы и методы исследования

Опытный объект, представляющий собой гараж, обогреваемый теплотой кристаллизации воды, построен в г. Якутске в 2018 г.

Потери тепла из помещения в окружающую среду определяли расчетным путем [12, с. 31; 13, с. 24; 14]. Испытания опытного объекта были проведены при различных среднезимних температурах наружного воздуха и разных количествах воды в обогревательных устройствах, названных водяными аккумуляторами тепла (ВАТ), в течение 2019–2025 гг. Зимние температуры наружного воздуха в разные годы до начала и в период испытания опытного объекта колебались в значительных пределах (табл. 1).

Таблица 1

Средние зимние температуры наружного воздуха в г. Якутске, ºС

По СП 131.133330.2020	Измеренные						
	2018–2019 г.	2019–2020 г.	2020–2021 г.	2021–2022 г.	2022–2023 г.	2023–2024 г.	2024–2025 г.
-24,6	-20,7	-20,7	-23,8	-21,8	-23,4	-22,2	-20,6

Источник: составлено авторами на основе [15] и на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 2

Размеры помещения и характеристики элементов ограждающих конструкций

b	l	h	δ_c	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	δ_6
м									
9,0	12,0	3,5	0,35	0,30	0,001	0,008	0,20	0,10	10,0

λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	t_2	t_4	v_1
Вт/(м·К)						°С		м/с
0,043	0,16	0,038	1,55	0,043	2,0	-2	-3	0,2

S_n	S_c	$S_{пол}$	$V_{пом}$	$V_{воз}$	n_a
$м^2$			$м^3$		шт.
93,8	111,7	93,8	267,3	213,8	1

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 3

Параметры водяных аккумуляторов

n, шт.	b_a, м	h_a, м	l_a, м	$tg\beta$	$\lambda_л$, Вт/(м·К)
8	1,5	1,8	22,0	0,014	1,72

Примечание: β– угол наклона боковых стен аккумулятора; l_a – суммарная длина аккумуляторов.
Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Рис. 1. Металлические резервуары – водяные аккумуляторы тепла (ВАТ)
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Среднезимние температуры наружного воздуха во время испытания опытного объекта оказались несколько выше температуры, рекомендуемой справочным пособием [15, с. 3], а колебания их влияют на потери тепла и количество воды для отопления.

В табл. 2 приведены размеры опытного помещения и параметры ограждающих конструкций, в которой индексы 1–3 относятся к элементам перекрытия и стен помещения, а индексы 4–6 – к элементам пола.

В табл. 3 представлены характеристики охлаждающего устройства.

Количество воды в аккумуляторах тепла для отопления помещений V подразделяется по выполняемой функции на основное $V_{ос}$ и вспомогательное $V_{вс}$. [14]:

$$V = V_{ос} + V_{вс}, \quad (1)$$

Основное количество воды в процессе кристаллизации в течение отопительного сезона выделяет тепло, которое должно быть равно суммарным потерям тепла из помещения в окружающую среду Q [14], и определяется по формуле

$$V_{\text{ос}} = Q / Q_{\text{ф}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{ф}}$ – объемная теплота кристаллизации воды.

Водяные обогревательные устройства помещений были изготовлены из стальных листов толщиной 3 мм. В опытном помещении (рис. 1) было установлено 8 водяных аккумуляторов трапецеидального поперечного сечения с небольшим углом наклона сторон ($tg\beta$ = 0,03), длиной от 1,5 до 3,5 м, общей длиной 22 м, шириной по нижнему основанию 1,5 м, по верхнему– 1,6 м, высотой 1,8 м.

В процессе кристаллизации воды ВАТ большой длины сильно деформируются. В одном аккумуляторе произошел разрыв шва. Поэтому целесообразно изготовлять одинаковые небольшие по размерам аккумуляторы с большим углом наклона боковых стенок. На рис. 2 показан вид сбоку рекомендуемого квадратного в плане аккумулятора.

Объем аккумулятора выражается следующей формулой

$$V_a = \frac{h_a}{3}\left(b_{a1}^2 + b_{a1}b_{a2} + b_{a2}^2\right), \quad (3)$$

где h_a – высота аккумулятор; b_{a2} – размер по верхнему основанию.

Объем аккумулятора на основании того, что объем воды при кристаллизации увеличивается примерно на 10%, представляется зависимостью

$$V_a = 1{,}1V_{\text{в}}, \quad (4)$$

Объем воды в аккумуляторе определяется формулой

$$V_{\text{в}} = \frac{h_{\text{в}}}{3}\left(b_{a1}^2 + b_{a1}b_{a\text{в}} + b_{a\text{в}}^2\right), \quad (5)$$

где $b_{a\text{в}}$ – размер аккумулятора на уровне поверхности воды; $h_{\text{в}}$ – высота воды в аккумуляторе; b_{a1} – размеры стороны по нижнему основанию;

Наклон стенок аккумулятора выражается зависимостью

$$tg\beta = \frac{b_{a\text{в}} - b_{a1}}{2h_{\text{в}}}, \quad (6)$$

$$tg\beta = \frac{b_{a2} - b_{a1}}{2h_a}. \quad (7)$$

Размеры $b_{a\text{В}}$ и $h_{\text{в}}$, а также параметры аккумулятора b_{a2} и h_a определяются по формулам (1)–(5).

Площадь теплообменной поверхности заполненного водой аккумулятора определяется по формуле

$$S_{a\text{в}} = b_{a1}^2 + b_{a\text{в}}^2 + 4\frac{\left(b_{a1} + b_{a\text{в}}\right)}{2}\frac{h_{\text{в}}}{cos\beta.} \quad (8)$$

Необходимое количество аккумуляторов, устанавливаемых в помещении, определяется общим количеством воды для отопления помещения и объемом воды одного аккумулятора:

$$m = V / V_{\text{в}}. \quad (9)$$

Из формул (5) и (6) находим общую площадь теплообменной поверхности всех аккумуляторов предлагаемой конструкции:

$$S_a = m(b_{a1}^2 + b_{a\text{в}}^2 + 4\frac{\left(b_{a1} + b_{a\text{в}}\right)}{2}\frac{h_{\text{в}}}{cos\beta}). \quad (10)$$

В экспериментах общая площадь аккумуляторов равна

$$S_{a\text{э}} = 2b_a l_a + V\left(\frac{2}{b_a} + \frac{n}{l_a}\right), \quad (11)$$

где n = 16.

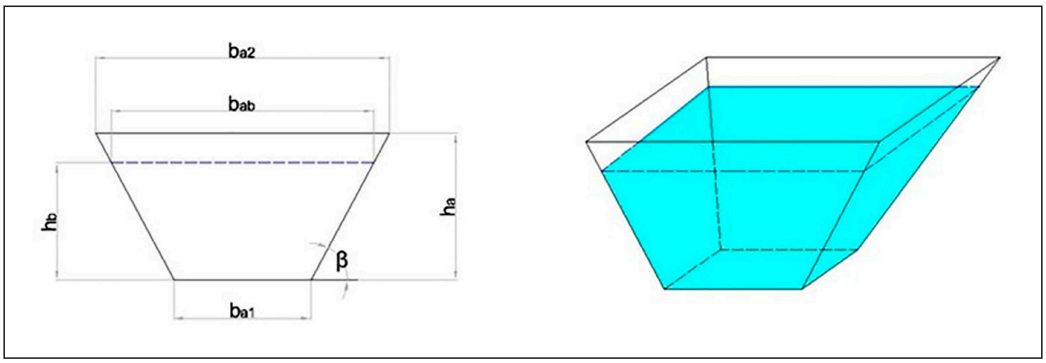


Рис. 2. Вид рекомендуемого аккумулятора
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

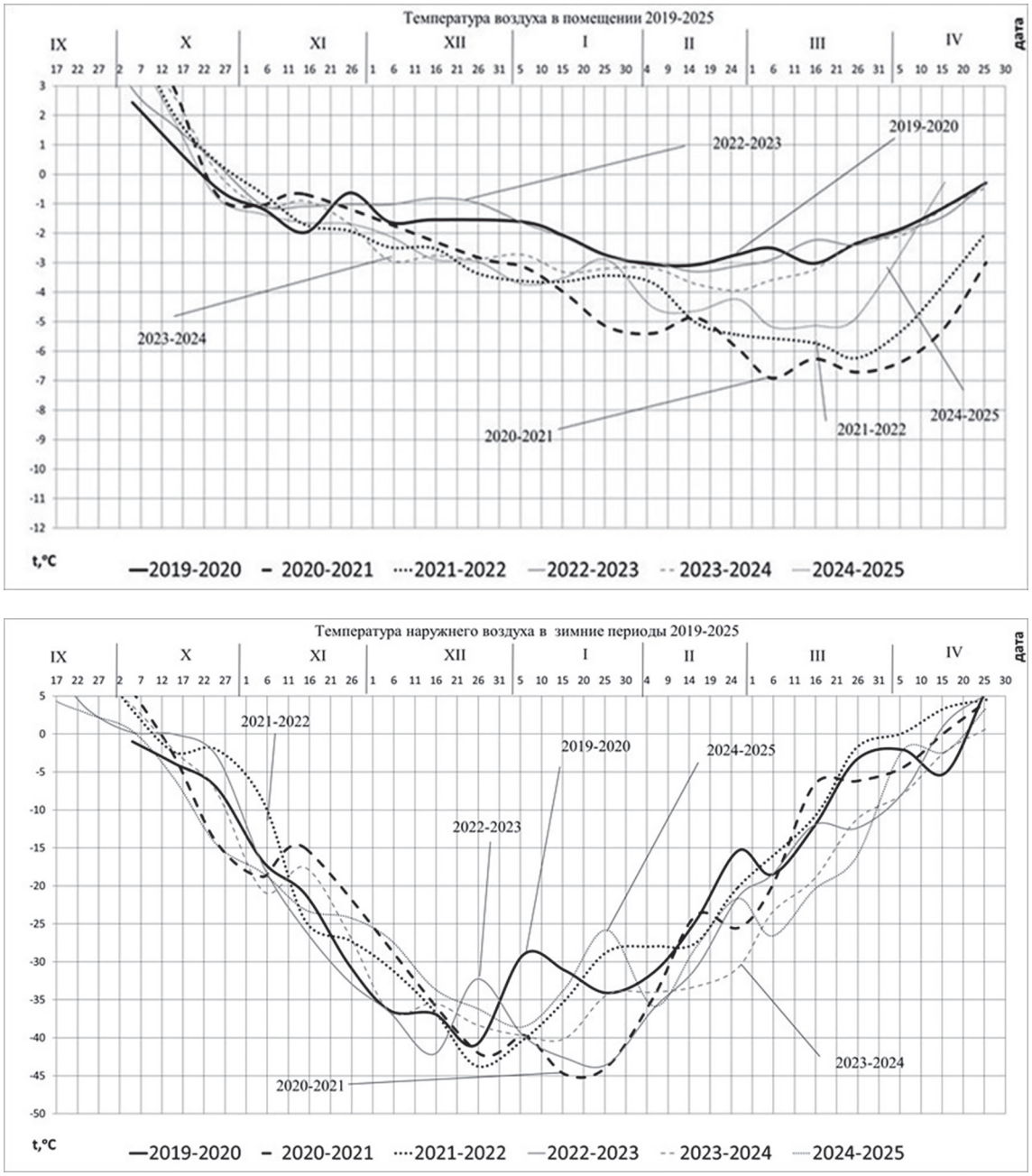


Рис. 3. Динамика температур воздуха внутри и снаружи помещения в зимние периоды при различных значениях суммарного объема воды в аккумуляторах (48,5–56,6 м³)
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 3 представлены графики среднезимних температур воздуха внутри и снаружи помещения. В климатических условиях г. Якутска температуры воздуха снаружи и внутри помещения понижаются с затухающей скоростью примерно до начала ноября, затем остаются практически на одном уровне – температура наружного воздуха – до середины февраля, а температура в помещении – до середины марта и в дальнейшем повышаются, причем температура в помещении достигает 0 ºС несколько позже. Такой характер изменения температуры помещения во второй половине зимы объясняется уменьшением площади поверхности льда, по которой происходит передача тепла из зоны кристаллизации воды в окружающий лед, увеличением толщины и терми-

ческого сопротивления льда. Температура в помещении зависит от количества воды и изменяется в соответствии с изменением температуры наружного воздуха.

Наибольшие потери тепла происходят через надземные части ограждающих конструкций помещения. Значительные потери тепла связаны также с выездом и заездом транспортных средств. Относительно высокие потери тепла через открытые ворота, очевидно, будут уменьшаться при увеличении размеров помещения в связи с уменьшением степени воздухообмена. Потери тепла могут быть несколько уменьшены повышением термического сопротивления ограждающих конструкций помещения, а также устройством тамбура у ворот.

В табл. 4 приведены расчетные количества потерь тепла из помещения в разные годы с различным количеством воды в аккумуляторах с учетом потерь ее на испарение и сублимации льда.

Таблица 4

Результаты определения количества воды в экспериментах

Годы	t_1, ºС	t_2, ºС	Q,	V, м^3	$V_{ос}$, м^3	$V_{вс}$, м^3
2019–2020	-20,7	-1,9	12961264	49,5	38,7	10,8
2020–2021	-23,8	-3,6	13513221	51,2	40,3	10,9
2021–2022	-21,27	-2,6	12672526	48,5	37,8	10,7
2022–2023	-23,4	-1,3	15287886	56,6	45,6	11,0
2023–2024	-22,2	-1,8	14046826	52,5	41,9	10,6
2024–2025	-20,6	-2,5	12395734	47,5	37,0	10,5

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

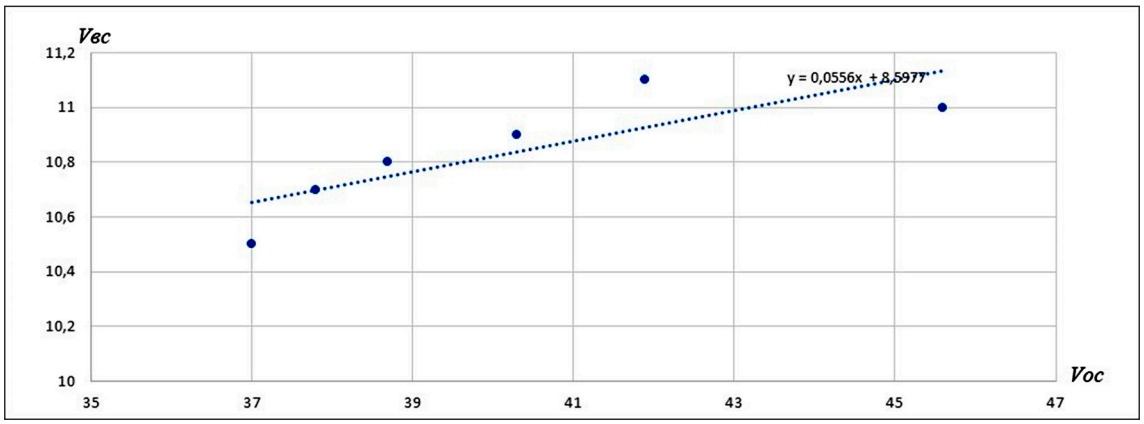


Рис. 4. График зависимости вспомогательного количества воды от основного количества ее в аккумуляторах. Точками показаны экспериментальные значения $V_{вс}$
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Таблица 5

Расчетные параметры экспериментального аккумулятора

V, м^3	$h_a = V / (b_a l_a)$, м	$S_{аз}$ по формуле (8)
49,5	1,50	168,0
51,2	1,55	171,5
48,5	1,47	165,9
56,6	1,73	183,7
52,5	1,59	174,2
47,5	1,44	163,9

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

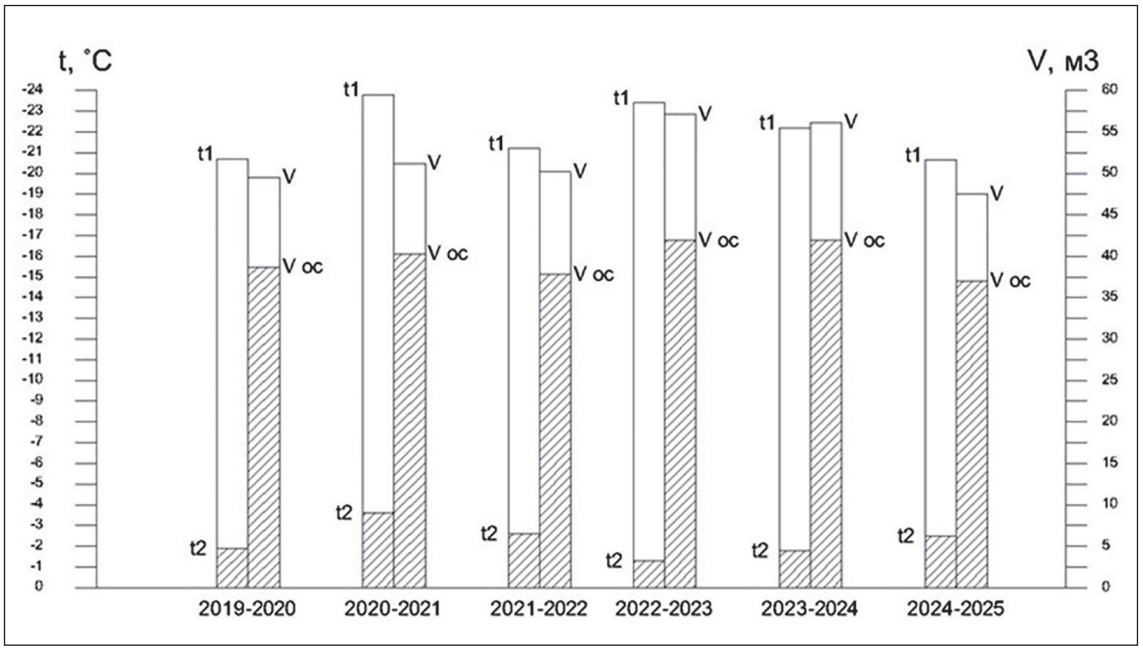


Рис. 5. Диаграмма температур наружного воздуха и внутри помещения и объемы воды в аккумуляторах в различные годы испытания опытного объекта
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Таблица 6

Расчетные параметры предлагаемого аккумулятора по формулам (3)–(10) при заданных значениях V, $V_в$ = 6,0 м^3 b_{a1} = 1,5, и угол β = 15ºС

V, м^3	$b_{ав}$	$h_в$	b_{a2}	h_a	m	S_a
49,5	2,40	1,60	2,41	1,70	8,3	172,2
51,2					8,5	178,1
48,5					8,1	168,7
56,6					9,4	196,9
52,5					8,8	182,7
47,5					7,9	165,3

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Количества $V_{ос}$ и $V_{вс}$ зависят от климатических условий, размеров и термического сопротивления ограждающих конструкций помещения (табл. 4).

Зависимость $V_{вс,}$ от $V_{ос}$ графически показана на рис. 4, которая выражается линейным уравнением

$$V_{вс} = 8{,}60 + 0{,}06V_{ос}. \qquad (12)$$

На рис. 5 представлена диаграмма температур наружного воздуха и внутри помещения и объемы воды в аккумуляторах в различные годы испытания опытного объекта.

В табл. 5 приведены расчетные значения параметров экспериментальных аккумуляторов при заданных значениях V, b_a = 1,5 м и l_a = 22,0 м.

В табл. 6 приведены расчетные параметры предлагаемого аккумулятора при заданных значениях $V_в$ = 6,0 м^3; b_{a1} = 1,5 м и β = 15ºС.

На рис. 6 представлены графики зависимости теплообменной поверхности экспериментального и предлагаемого аккумуляторов от объема воды.

Из рис. 6 видно, что при одинаковых объемах воды суммарная теплообменная поверхность аккумулятора предлагаемой конструкции больше, чем у экспериментального аккумулятора.

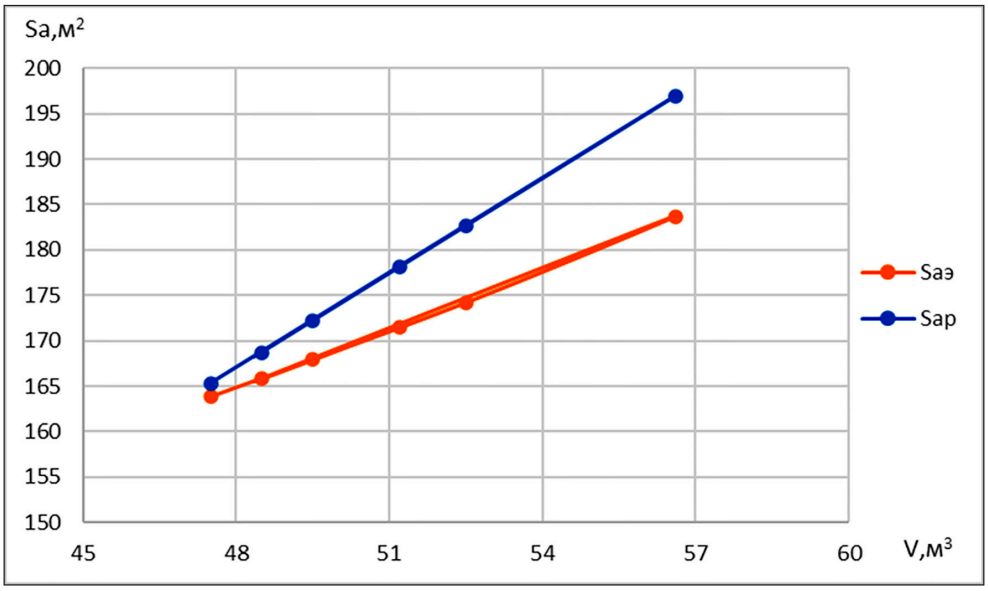


Рис. 6. Графики зависимости теплообменной поверхности экспериментального и предлагаемого аккумуляторов от объема воды
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Выводы

По итогам исследования сделаны следующие выводы:

– относительно широкий диапазон колебаний средних значений температуры наружного воздуха приводит к различным потерям тепла и, соответственно, к разным количествам воды для отопления помещения;

– характер изменения температуры в помещении в зимнее время соответствует изменениям температуры наружного воздуха, повторяя кратковременные ее колебания;

– температура в помещении понижается примерно до начала ноября, затем она с небольшими колебаниями остается постоянной до середины апреля и в дальнейшем повышается с меньшей скоростью, чем наружная температура вследствие уменьшения площади теплообмена на границе вода – лед и увеличения термического сопротивления льда;

– основное количество воды в аккумуляторах, определяемое расчетным путем по суммарной величине потерь тепла из помещения в окружающую среду, зависит от климатических условий площадки расположения объекта, размеров и термического сопротивления ограждающих конструкций заданной температуры помещения;

– вспомогательное количество воды в аккумуляторах, от которого зависит площадь кристаллизации воды, термическое сопротивление льда и соответственно температура в помещении, линейно возрастает с увеличением основного количества воды;

– для уменьшения давления и снижения деформации аккумуляторов, возникающих при кристаллизации воды с увеличением ее объема, целесообразно изготовлять их небольшими по размерам и с большим наклоном стенок;

– аккумуляторы заполняются водой с учетом увеличения ее объема при кристаллизации примерно на 10%.

Длительными испытаниями опытного объекта установлена возможность практического использования теплоты фазовых переходов воды, являющейся возобновляемым источником энергии для обогрева и даже отопления некоторых видов помещений на большей части территории России. Необходимое количество воды для обогрева помещений до высоких отрицательных температур, близких к 0 °С, зависит от климатических условий, размеров и термического сопротивления ограждающих конструкций и режима эксплуатации помещения.

Список литературы

1. Горбенко О.Н., Рожкова А.А. Использование воды как источника энергии // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5–2. С. 39–39. URL: https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=33905 (дата обращения: 16.08.2025).

2. Шишелова Т.И., Толстой М.Ю. Современное состояние науки о воде. Проблемы и перспективы // Научное обозрение. 2016. № 4. С. 61–80. URL: https://abstract.

science-review.ru/ru/article/view?id=1799 (дата обращения: 16.08.2025).

3. Бараненко А.В., Кузнецов П.А., Захарова В.Ю., Цой А.П. Применение веществ с фазовыми переходами для аккумулирования тепловой энергии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 6. С. 990–1000. DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-6-990-1000.

4. Каржавин В.К. Особенности условий кристаллизации жидкой фазы // Физическая и аналитическая химия природных и техногенных систем: сборник трудов Всероссийской конференции с международным участием (Дубна, 14–15 апреля 2021 г.) / Под общ. ред. П.П. Гладышева. Дубна: Университет «Дубна», 2021. С. 79–81. EDN: ZZGNCJ.

5. Стеценко В.Ю. Особенности кристаллизации воды // Литье и металлургия. 2024. № 3. С. 95–97. DOI: 10.21122/1683-6065-2024-3-95-97.

6. Новиков А.А., Ершова И.Г. Разработка экспериментальной установки на фазовом переходе вода – лед // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. Т. 67. № 2 (39). С. 21–26. DOI: 10.22314/2658-4859-2020-67-2-21-26.

7. Мозулевский А.А. Экологическая безопасность и методы ее обеспечения: учебное пособие. СПб.: РГГМУ, 2020. 230 с. ISBN 978-586813-521-7.

8. Экологическая и техносферная безопасность. Часть I – Теоретические основы экологической и техносферной безопасности: учебное пособие / М.В. Архипов, В.В. Кульнев, М.Б. Носырев, Л.П. Парфѐнова, В.А. Почечун, А.И. Семячков, К.А. Семячков, А.А. Фоминых, Л.Б. Хорошавин; под ред. А.И. Семячкова. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. 177 с. URL: http://www.geol.vsu.ru/ecology/Science/Tutorials/2017/EcoTehnoSafety1.pdf (дата обращения: 25.07.2025).

9. Кузьмин Г.П. Новые технологии использования теплоты фазовых переходов воды // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 5–2. С. 217–221. URL: https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11574 (дата обращения: 16.07.2025).

10. Кузьмин Г.П. Устройство для поддержания околонулевой температуры в закрытых помещениях. Патент № 2617579 Российская Федерация, МПК, заявитель и патентообладатель Учреждение РАН – Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (RU). Опубл. 25.04.2017. [Электронный ресурс]. URL: https://mpi.ysn.ru/en/publications/inventions (дата обращения: 24.07.2025).

11. Кузьмин Г.П., Куваев В.А. Вода как аккумулятор солнечной энергии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 9. С. 80–84. URL: https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12855 (дата обращения: 16.07.2025). DOI: 10.17513/mjpfi.12855.

12. Малявина Е.Г. Теплопотери зданий: справочное пособие. М.: «АВОК – ПРЕСС». 2007. 144 с. [Электронный ресурс]. URL: https://elima.ru/books/?id=1566 (дата обращения: 18.07.2025).

13. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Изд. 3-е. «Энергия», 1975. 488 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.c-o-k.ru/library/document/12320/33429.pdf (дата обращения: 24.07.2025).

14. Кузьмин Г.П., Куваев В.А. Результаты испытания устройства для управления температурным режимом помещений теплотой фазового перехода воды // Успехи современного естествознания. 2022. № 8. С. 127–132. URL: https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37878 (дата обращения:16.08.2025). DOI: 10.17513/use.37878.

15. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная редакция взамен СНиП 23-01-99*. Минстрой России. М., 2020. 146 с. [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200095546 (дата обращения: 22.07.2025).