



ИД «Академия Естествознания»

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 8 2025



ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 8 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 завершённых исследований, проблемного или научно-практического характера, научные обзоры.

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

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

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

Технический редактор

Доронкина Е.Н.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

Корректор

Галенкина Е.С.,

Дудкина Н.А.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент *Абдулвалеев Р.Р.* (Уфа); д.г.-м.н., проф., *Абильхасимов 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.* (Миценск); д.т.н., проф. *Петров М.Н.* (Красноярск); д.т.н., проф. *Пирумян Г.П.* (Ереван); д.с.-х.н., проф. *Проездов П.Н.* (Саратов); д.г.-м.н., проф. *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. *Ширанов 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

29.08.2025

Дата выхода номера

30.09.2025

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

9,25

Тираж

1000 экз.

Заказ

УСЕ 2025/8

Распространяется по свободной цене

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России»: П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

Advances in current natural sciences

Scientific journal

The journal has been published since 2001.

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

Technical editor

Doronkina E.N.

EXECUTIVE SECRETARY

Bizenkova Maria Nikolaevna, Cand. Sci. (Medical)

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. **Belozеров V.V.** (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent **Belous O.G.** (Sochi); D.Sc., Prof. **Berson G.Z.** (Velikiy Novgorod); D.Sc., Prof. **Bondarev V.I.** (Ekaterinburg); D.Sc., Prof. **Galkin A.F.** (Ukhta); D.Sc., Prof. **Gavrilshin 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 **Kuzakov 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. **Tikhonovsky A.N.** (Salekhard); D.Sc., Prof. **Trofimenko S.V.** (Neryungri); D.Sc., Prof. **Ulrich E.V.** (Kemerovo); D.Sc., Prof. **Choduraev T.M.** (Bishkek); D.Sc., Prof. **Shamshiev B.N.** (Osh); D.Sc., Prof. **Shantarin V.D.** (Tyumen); D.Sc., Prof. **Shatov A.A.** (Ufa); D.Sc., Prof. **Shirapov D.Sh.** (Ulan-Ude); D.Sc., Prof. **Shishelova T.I.** (Irkutsk); D.Sc., Prof. **Shugunov L.Zh.** (Nalchik); D.Sc., Prof. **Yurgenson G.A.** (Chita); D.Sc., Prof. **Yakovenko N.V.** (Voronezh); D.Sc., Prof. **Yamaletdinova K.Sh.** (Chelyabinsk)

ISSN 1681-7494

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

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

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

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

Periodicity	12 issues per year		
Founder, publisher and editors	LLC PH Academy of Natural History		
Mailing address	105037, Moscow, p.o. box 47		
Editorial and publisher address	440026, Penza, st. Lermontov, 3		
Printing house	LLC SPC Academy of Natural History 410035, Saratov, st. Mamontova, 5		
E-mail	edition@rae.ru	Telephone	+7 (499) 705-72-30
Signed for print	29.08.2025	Number issue date	30.09.2025
Format	60x90 1/8	Conditionally printed sheets	9,25
Circulation	1000 copies	Order	YCE 2025/8

Distribution at a free price

Subscription index in the Russian Post electronic catalog: P7816

© LLC PH Academy of Natural History

СОДЕРЖАНИЕ

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СЕВЕРНЫХ ГРАНИЦ АРЕАЛА РАСПРОСТРАНЕНИЯ
БОРЕАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО
ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

Алексеев И.А. 6

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА НА БЕЛОМ
МОРЕ В РАЙОНЕ СОЛОВЕЦКИХ ОСТРОВОВ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ
НАБЛЮДЕНИЙ

Баклагин В.Н., Махальская Н.И., Лукина Ю.Н. 13

НЕКОТОРЫЕ ФАКТОРЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА БАРНАУЛА

Королева Е.Н., Сперанский Г.А., Сперанская Н.Ю., Мездрина В.А. 20

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПОЛЛИНОЗАМИ ДЕТЕЙ
ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА В РАЙОНАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Лозовская С.А., Изергина Е.В., Латышева Л.А. Цыпкина Г.И., Григорьева Н.В. 28

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ И АНАЛИЗ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО
ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА

Харина Г.В., Белова К.А., Алешина Л.В., Раскатова Е.А. 34

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

СТАТЬЯ

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПАЧКИ ЛИНГУЛОВЫХ
ГЛИН НА ЮГО-ВОСТОКЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН ПО ДАННЫМ
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАРБОНАТНОСТИ

Фахрутдинов Э.И., Нургалиева Н.Г. 42

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

СТАТЬИ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕЗОННОГО ЛЬДА И СНЕГА ПРИ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОМ
ЗОНДИРОВАНИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СУШИ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЛЕНА

Горохов И.В., Христофоров И.И., Данилов К.П. 56

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БУРОВОГО
РАСТВОРА НА ОРГАНИЧЕСКОЙ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ОСНОВЕ

Чудинова И.В., Гильфанова А.Ф., Решетникова М.В. 64

CONTENTS

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF THE NORTHERN BOUNDARIES
OF THE DISTRIBUTION AREA OF BOREAL COMPLEXES
IN THE TERRITORY OF THE FAR EASTERN FEDERAL DISTRICT

Alekseev I.A. 6

LONG-TERM VARIABILITY OF ICE CONCENTRATION
IN THE SOLOVETSKY ISLANDS AREA BASED ON SITU DATA

Baklagin V.N., Makhalskaya N.I., Lukina Yu.N. 13

SOME FACTORS OF GEOECOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF THE TERRITORY OF THE CITY OF BARNAUL

Koroleva E.N., Speranskiy G.A., Speranskaya N.Yu., Mezdrina V.A. 20

INFLUENCE OF NATURAL AND ENVIRONMENTAL FACTORS
ON THE FORMATION OF POLLINOSIS DISEASES IN PRESCHOOL
CHILDREN IN THE AREAS OF PRIMORSKY KRAI

Lozovskaya S.A., Izergina E.V., Latysheva L.A., Tsyvkina G.I., Grigoreva N.V. 28

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF TAP WATER AND ANALYSIS
OF THE FUNCTIONING OF THE CENTRALIZED WATER SUPPLY
SYSTEM IN YEKATERINBURG

Kharina G.V., Belova K.A., Alyoshina L.V., Raskatova E.A. 34

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

ARTICLE

LITHOFACIES FEATURES OF LINGULA CLAY PACKAGE
IN THE SOUTHEAST OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN BASED
ON GRANULOMETRIC COMPOSITION AND CARBONATE CONTENT

Fakhrutdinov E.I., Nurgalieva N.G. 42

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

ARTICLES

INFLUENCE OF ICE AND SNOW COVER TO GROUND-PENETRATING
RADAR SOUNDING ON WATER BODIES ON EXAMPLE OF THE LENA RIVER

Gorokhov I.V., Khristoforov I.I., Danilov K.P. 56

STUDY OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ORGANIC
HYDROCARBON-BASED DRILLING FLUID

Chudinova I.V., Gilfanova A.F., Reshetnikova M.V. 64

СТАТЬИ

УДК 911.2

DOI 10.17513/use.38415

**АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СЕВЕРНЫХ ГРАНИЦ АРЕАЛА
РАСПРОСТРАНЕНИЯ БОРЕАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ
НА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО
ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА****Алексеев И.А.***ФГБОУ ВО «Благовещенский государственный педагогический университет»,
Благовещенск, e-mail: igoralex20071@mail.ru*

Целью исследования является анализ изменений северных границ ареалов распространения лесных ландшафтов на территории Дальневосточного федерального округа. При этом, помимо влияний климатических изменений на процессы динамики границ распространения лесных комплексов, рассматриваются и их взаимосвязи с формированием и развитием процессов автовосстановления структуры антропогенно нарушенных лесных ландшафтных комплексов. На основе применения комплексных физико-географических методов в ходе полевых многолетних стационарных, полустационарных и маршрутных исследований природных, природно-антропогенных и антропогенных ландшафтов Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации с применением материалов дистанционного зондирования Земли проведен анализ изменения северных границ ареалов распространения лесных ландшафтов с учетом проявлений процессов постантропогенной динамики состояний лесных ландшафтов и внутриландшафтных комплексов, их компонентов. Проведен анализ динамики ареалов распространения недифференцированных северо-таежных и северо-таежно-тундровых комплексов в пределах участков их контакта с тундровыми комплексами. Результаты анализа показывают влияние на них процессов полнофункционального и полноценного автовосстановления структуры ландшафтных комплексов и наличие тенденции сокращения площади распространения тундровых экосистем. Материалы исследования вносят вклад в решение дискуссионных вопросов ландшафтоведения, формируют концептуальные основы для развития проблематики анализа динамики ареалов распространения лесных ландшафтов. Установленные особенности процессов изменения контактовых зональных типов ландшафтов позволяют проводить дальнейшие исследования в сфере антропогенного ландшафтоведения и прогнозирования состояний окружающей среды.

Ключевые слова: ландшафтоведение, Дальневосточный федеральный округ, автовосстановление антропогенно нарушенной структуры ландшафтов, лесные ландшафты

**ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF THE NORTHERN BOUNDARIES
OF THE DISTRIBUTION AREA OF BOREAL COMPLEXES
IN THE TERRITORY OF THE FAR EASTERN FEDERAL DISTRICT****Alekseev I.A.***Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk,
e-mail: igoralex20071@mail.ru*

The aim of the study is to analyze changes in the northern boundaries of forest landscape distribution areas in the Far Eastern Federal District. In addition to the effects of climate change on the processes of forest complex distribution boundaries dynamics, their relationships with the formation and development of the processes of automatic restoration of the structure of anthropogenically disturbed forest landscape complexes are also considered. Based on the application of complex physical-geographical methods in the course of long-term field stationary, semi-stationary and route studies of natural, natural-anthropogenic and anthropogenic landscapes of Siberia and the Far East of the Russian Federation using Earth remote sensing materials, an analysis of changes in the northern boundaries of forest landscape distribution areas was carried out, taking into account the manifestations of the processes of post-anthropogenic dynamics of forest landscape states and intra-landscape complexes, their components. An analysis of the dynamics of distribution areas of undifferentiated northern taiga and northern taiga-tundra complexes within the areas of their contact with tundra complexes was carried out. The results of the analysis show the influence of the processes of full-functional and complete automatic restoration of the structure of landscape complexes on them and the presence of a tendency to reduce the area of distribution of tundra ecosystems. The research materials contribute to the solution of controversial issues in landscape science, form a conceptual basis for the development of problems of analyzing the dynamics of forest landscape distribution areas. The established features of the processes of change of contact zonal types of landscapes allow to conduct further research in the field of anthropogenic landscape science and forecasting of environmental conditions.

Keywords: landscape science, Far Eastern Federal District, forest landscapes, automatic restoration of anthropogenically disturbed landscape structure

Введение

Комплексы лесов умеренного пояса Северного полушария, развиваясь в крайне разнообразных условиях, формируют уникальную, пространственно и качественно дифференцированную в зонально-азональном плане структуру. Лесные биоценозы Евразии, в частности территории субъектов Дальневосточного федерального округа (ДФО), испытывая воздействия возрастающих величин среднегодовых температур воздуха, влияющих на увеличение периода вегетации, достаточно активно проникают, увеличивая ареалы произрастания древесных пород, в области распространения лесотундровых и тундровых равнинных ландшафтов и субальпийских, альпийских, горно-тундровых горных ландшафтов [1-3]. Увеличение зоны распространения как типичных, так и рединно-колковых, «островного» распространения лесных сообществ вследствие создания благоприятных условий связано в том числе и с развитием интенсивных процессов самопроизвольного автовосстановления их структуры после деструктивных естественных и антропогенных воздействий.

С начала 2000-х годов множество исследователей отмечают повышение уровней показателей среднемесячных и среднегодовых температур воздуха в полярных и приполярных территориях Северного полушария, а также связанные с этим процессы увеличения уровней влажности воздуха и величин поступающих осадков [1-3]. При этом исследователи четко определяют эту тенденцию изменения климатических показателей как «улучшение» условий произрастания древесных растений в полярной и приполярной областях, а также связанные с этими процессами аридизацию условий и деградацию южной части бореального комплекса Евразии [4-6].

В.Г. Сергиенко на основе материалов изученности динамики ландшафтов и климатических показателей отмечает формирование тенденции перемещения северных границ распространения лесных комплексов в зональном плане на север и в высотном – за пределы нижней границы распространения субальпийских и альпийских комплексов в полярных и приполярных участках территории Европейского Севера и Западной Сибири [1]. Подобная тенденция наблюдается автором этой статьи и на участках контакта северо-таежных, лесотундровых и тундровых равнинных ландшафтов на территории северо-восточной части Российской Феде-

рации (равнин и мезовозвышенностей северной части Якутии, Яно-Индибирской низменности и др. участков).

А.А. Петрукович, обобщая материалы исследования ИКИ РАН, на основе результатов многолетнего дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), отмечает «постепенное движение границы тайги и тундры на север» [2, с. 21], обусловленное кумулятивным, постепенным повышением температуры воздуха. «Карта растительного покрова России, полученная по данным спектрометра MODIS» [2, с. 21] и представляющая собой синтетическое совмещение карт растительности России за период с 2001 по 2019 год, имеет упрощенную классификацию лесных экосистем и на отдельных участках неверную интерпретацию типов растительности. В частности, в типах наземных экосистем отсутствуют рединные светлохвойные, светлохвойные леса, гольцовые комплексы, которые наиболее часто образуют контактовые комплексы в зоне пространственной дифференциации равнинных и горных бореальных, лесотундровых и тундровых ландшафтов северо-восточной и восточной части Российской Федерации.

Стоит отметить отсутствие подобного рода работ применительно к территории ДФО. Стоит учитывать, что, как правило, изменения достаточно четко дифференцируемых северных и южных границ распространения бореальных комплексов осложняются динамикой состояния многолетнемерзлых комплексов подстилающих пород [7; 8]. При этом установление взаимосвязей между этими пространственными изменениями контуров лесных ландшафтов и связанных с ними различной интенсивности и типов процессов автовосстановления их структуры позволяет более обоснованно подходить к формированию прогнозов их состояния с учетом антропогенных воздействий.

Целью исследования является анализ изменений северных границ ареалов распространения лесных ландшафтов на территории ДФО.

Материал и методы исследования

Для достоверного изучения процессов динамики северных границ ареалов распространения лесных ландшафтных комплексов на территории ДФО на основе использования комплексных физико-географических методов полевого стационарного и полустационарного долговременного наблюдения (на основе принципа равномерного распределения пунктов наблюдения в пределах

основных типов и видов лесных равнинных и горных ландшафтов) в совокупности с анализом материалов ДЗЗ в пределах участков контакта лесных и тундровых комплексов были дифференцированы и изучены более 80 ключевых стационарных участков, в пределах которых были дифференцированы более 80 видов ландшафтов и 1000 контуров элементарных ландшафтов [9, с. 40-159]. В качестве основы для упорядоченного выявления процессов изменения положения границ ареалов распространения лесных комплексов и установления взаимосвязей их с процессами автовосстановления комплексов для природных, природно-антропогенных и антропогенных ландшафтов территории осуществлены дифференциация и генетическая классификация, физико-географическое и ландшафтное районирование территории исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Территория Российской Федерации находится в пределах широтных, природных полупустынной (изолированные фрагменты), степной, лесной, тундровой зон и долготных, аazonальных гумидных и континентальных, экстраконтинентальных внутри-зональных комплексов. При этом значительную часть территории занимают бореальные равнинные и горные ландшафты. В условиях территории Российской Федерации наибольшим набором типов и видов фитоценологических и почвенно-эдафических компонентов характеризуются лесные ландшафты, что делает их наиболее доступными, репрезентативными и объективно достоверными объектами исследования различных аспектов динамики состояний ландшафтных комплексов.

С точки зрения логики, понимания сущности циклов динамики состояний лесных ландшафтов, устойчивости их существования и изменений ареалов распространения древесных растений северной тайги в связи с такими процессами, как автовосстановление их структуры, прежде всего, следует за период не менее 10 лет дифференцировать процессы распространения древесных растений в пределах территорий, ранее некомфортных для их вегетации [8].

На основе применения исходных материалов, полученных при использовании методов маршрутных и стационарных полевых наблюдений, и всестороннего применения методов дистанционного (авиационного и космического) наблюдения необходимо

дифференцировать процессы естественного самовосстановления (автовосстановления) нарушенной естественными или антропогенными факторами структуры лесных ландшафтных комплексов и их компонентов. При этом под процессами автовосстановления ландшафтных комплексов и их компонентов понимаются только «естественные процессы воссоздания свойств и структуры ландшафтных комплексов и их компонентов по принципу «самосборки» в пределах лимитирующего воздействия сочетаний зонально-аazonальных условий и факторов с естественным «отсеканием» всех вариантов результатов, не имеющих признаков, показателей, способствующих приспособлению к данным показателям окружающей среды» [9, с. 29].

Территории Дальневосточного федерального округа (ДФО), в пределах которой сформировались лесные комплексы, соответствуют административные территории субъектов: Республики Саха (Якутия), Республики Бурятия, Забайкальского, Камчатского, Хабаровского, Приморского краев, Амурской, Сахалинской областей и, крайне незначительно, фрагментарно – небольшие участки территории Магаданской области, Чукотского автономного округа.

В условиях крайне обширного набора сочетаний факторов, определяющих формирование лесных ландшафтов территории ДФО, с точки зрения автора, рисунку изотерм суммы активных температур максимально соответствуют ареалы распространения различных типов лесных комплексов. При этом не только климатические особенности, но и достаточно сложное геоморфологическое устройство, наличие обширной территории распространения сезонно- и многолетне-мерзлых комплексов влияют на формирование массивов лесных комплексов территории [10-12]. Кроме того, мелколиственные и светлохвойные виды древесных растений в условиях территории исследования произрастают в ареалах с экстремальными для них показателями гидротермических коэффициентов, проникая в пределы ареалов тундровых и недифференцированных лесотундровых ландшафтов. Поэтому гидротермический коэффициент автором не рассматривался как интегральный показатель, определяющий формирование определенных типов лесных комплексов территории.

Для территории достаточно обширной контактовой зоны, большого экотона северо-таежных, лесотундровых и тундровых биоценозов, лесные типы ландшафтов харак-

теризуются несплошным, островным и рединно-колковым распространением. И если в пределах центральной и южной частей территории ДФО лесные ландшафты имеют в достаточной мере зонально-субширотную дифференциацию, то в пределах территории северо-восточной части Республики Саха (Якутия), незначительной части с лесными сообществами Камчатского края, Магаданской, Сахалинской областей, Чукотского автономного округа распространение лесных ландшафтов варьирует от равнинного субмеридионального до межгорно-долинного изолированно-островного типа под влиянием очертаний долин крупных рек, от горного высотного до межгорно-нагорного, изолированного влиянием возвышенных, изолирующих горных массивов.

В пределах экотональной, контактовой территории распространения недифференцированных среднетаежных, северо-таежных и северо-таежно-тундровых комплексов характерно доминирование на равнинных и сухих низинных участках светлохвойно-кустарниково-кустарничково-моховых, светлохвойно-мелколиственно-кустарничково-моховых, светлохвойно-моховых комплексов с нормальными, стелющимися и карликовыми формами древесных растений. За 10-летний период на территории ДФО на протяжении около 750 км граница ареала островного, рединно-колкового распространения названного типа ландшафтных комплексов сместилась к северу в среднем на 1,5 км.

На незначительных по относительной высоте водораздельных пространствах, в пределах межгорных долин доминируют светлохвойно-мелколиственно-моховые, мелколиственно-кустарничково-моховые комплексы с преимущественно стелющимися и карликовыми формами древесных растений. За 10-летний период граница ареала островного, рединно-колкового распространения ландшафтных комплексов с участием мелколиственных пород древесных растений в среднем на 2,5 км сместилась к северу.

В долинах таких рек, как Лена, Индигирка, Яна, и их наиболее крупных притоков на участках недифференцированных тундровых, лесо-тундровых и северо-таежных комплексов сформировались биоценозы, достаточно близкие к типичным северо-таежным и образованные сосново-криволесно-мелколиственно-моховыми, лиственнично-криволесно-мелколиственно-моховыми, мелколиственно-моховыми комплексами. Примечательным является

наличие и расширение за 10-летний период в среднем на 3,5 км ареала распространения как в целом на участке долины в зоне тундры, так и в устьевой части долины р. Лена колковых и колково-рединных комплексов, близких по облику к северо-таежным комплексам, образованных криволесно-лиственнично-мелколиственно-моховыми сообществами.

Для сравнения можно привести величины динамики границ экотональных, контактовых участков основных зональных типов бореальных ландшафтов на территории ДФО за 10-летний период. Граница контакта широколиственных лесов и лесостепных, степных участков сместилась к югу в среднем на 450 м. Экотональный участок взаимопроникновения биоценозов смешанных и широколиственных лесов на равнинных участках материковой части ДФО увеличился в среднем на 250 м. Экотональный участок взаимопроникновения биоценозов подтаежных (суббореальных), южно-таежных и смешанных лесов увеличился в среднем на 300 м с хорошо выраженным смещением к северу его границ.

Интересен и тот факт, что за 20-летний период наблюдений в пределах территории ДФО не установлено значительных изменений границ распределения высотных поясов с комплексами, образованными древесными растениями, в пределах среднегорных массивов. Исключением в этом случае являются незначительные по величине (до 50 м поверхности склонов) инвазии ландшафтных комплексов, образованных криволесными формами светлохвойных, темнохвойных и мелколиственных пород, в пределы субальпийских, горно-тундровых ландшафтов.

Стоит отметить также получившую за 10-летний период на территории ДФО значительное развитие тенденцию разрежения древостоя и распространения изолированных массивов «пьяного» леса и вальника в пределах средне-таежных и северо-таежных равнинных ландшафтных комплексов. Развитие этого явления связано с тем, что широкое сплошное и островное распространение на территории ДФО многолетнемерзлых подстилающих пород на фоне увеличения среднегодовых температур воздуха и, соответственно, продолжительности безморозного периода определяет и развитие обширных по площади термокарстовых и в меньшей мере солифлюкционных процессов. Термокарстовые процессы не позволяют корневым системам зрелых древесных растений закрепляться для поддержания

вертикального положения стволов и определяют их промерзание, развитие анаэробных процессов в зоне контактов с корневыми волосками и в конечном итоге гибель корневых систем [13]. Это приводит к гибели зрелых или невозможности развития подроста древесных растений на наиболее пониженных (как правило, заросшие аласовые котловины, днища долин малых рек и т.д.) участках или участках с затрудненным дренажом и близким расположением к дневной поверхности водоупорных пород.

При охарактеризованных различными исследователями [1; 2; 14] применительно к территории Урала, Центральной России и Западной Сибири изменениях северной границы распространения лесных ландшафтных комплексов, в пределах южных границ распространения лесных комплексов на территории ДФО отсутствуют выявленные названными исследователями проявления аридизации условий и сокращения сомкнутости, биопродуктивности древесной растительности.

Весьма интересным является анализ взаимосвязей территориальной локализации изменений северной границы распространения лесных ландшафтных комплексов с учетом типов, интенсивности проявлений автовосстановления нарушенной различными воздействиями структуры лесных ландшафтных комплексов на территории ДФО. Сведения о специфике процессов автовосстановления различных типов и видов лесных ландшафтных комплексов на иерархических уровнях ландшафтов и внутриландшафтных комплексов (фаций, групп фаций, растительных ассоциаций) на территории ДФО были получены ранее на основе многолетних стационарных наблюдений [15].

Установлено, что во всей совокупности анализируемой выборки лесных внутриландшафтных комплексов равнинных, горных и горно-долинных типов, имеющих нарушенную различными типами воздействий структуру и характеризующихся развитием процессов автовосстановления структуры, количественно преобладают лесные ландшафты с доминированием (в порядке убывания средневзвешенных величин встречаемости) смешанных, широколиственных, южно-таежных и долинных северо-таежных фитоценозов.

Перечисленные ландшафтные комплексы характеризуются и достаточно активной динамикой пространственного их положения. Особенно на общем фоне выделяются смешанные лесные и долинные

северо-таежные ландшафтные комплексы, которые характеризуются высокими темпами развития обширных экотонов, соответственно, с южно-таежными и тундровыми, лесотундровыми комплексами. В общей выборке всех наблюдаемых контуров внутриландшафтных комплексов с проявлением характерных признаков развития процессов, формирования промежуточных и конечных результатов автовосстановления их нарушенной структуры (2736 [9, с. 187]) примерно в 42,3% случаев (353 (12,9%) – смешанные, 275 (10%) – широколиственные, 161 (6,9%) – суббореальные, подтаежные, 139 (5,1%) – южно-таежные, 126 (4,6%) – долинные северо-таежные, 103 (2,8%) – прочие типы комплексов) развитию процессов автовосстановления соответствуют активные процессы их «экспансии» (с формированием контуров выделов преимущественно дезъюнктивирующего типа) в пределы «соседствующих» зональных типов ландшафтов.

Установлено, что лесные комплексы, находящиеся на участках контакта и взаимоперехода северо-таежных, лесотундровых и тундровых ландшафтных комплексов в пределах территории ДФО имеют относительно невысокую (более 3 лет) интенсивность автовосстановления антропогенно нарушенной структуры и характеризуются относительно небольшим уровнем биологического (в том числе и видового) разнообразия, полноценной ярусной и пространственной структуры фитоценозов [15].

С увеличением территории распространения обширных экотонов недифференцированных средне-таежных, северо-таежных и северо-таежно-тундровых и тундровых комплексов на участках их контакта опосредованно связаны и показатели явления устойчивости ландшафтных комплексов к различным внешним воздействиям. Под устойчивостью ландшафтной структуры к различным внешним воздействиям понимается ее неопределенно долго существующая способность к хорошо выраженному процессу автовосстановления на различных этапах развития, в том числе и на постантропогенном этапе, до уровня, идентичного фоновым, исходным ландшафтным комплексам или близкого к такому. В этом случае устойчивость структуры лесных ландшафтных комплексов к естественным и антропогенным воздействиям, пространственно соответствуя тенденциям расширения ареалов распространения древесных растений, также является их интегральным

показателем, определяемым скоростью, полнотой и идентичностью фоновым комплексам результатов автовосстановления их структуры.

Обобщение и среднестатистический учет эмпирических материалов изученности региональной специфики процессов автовосстановления структуры нарушенных естественными и антропогенными факторами лесных ландшафтных комплексов территории ДФО до состояния, максимально приближенного к фоновому, исходному, позволили определить уровень устойчивости их структуры к внешним воздействиям [9, с. 227]. При наибольшем уровне устойчивости (как способности сохранять состояние, максимально приближенное к фоновому, исходному при внешних воздействиях на комплекс) структуры лесных ландшафтных комплексов к внешним воздействиям процессы ее (структуры) автовосстановления наиболее эффективны и способствуют при благоприятных климатических условиях успешному освоению древесными растениями соседствующих биоценозов, не имеющих древесных растений.

Последующие наблюдения, анализ и сопоставление материалов фиксации результатов на различных этапах полнофункционального автовосстановления нарушенной структуры внутриландшафтных комплексов и процессов «продвижения на север», в пределы биотопов тундровых экосистем, северо-таежных комплексов, позволяют установить прямую зависимость эффективной «экспансии» лесных биоценозов в пределы зоны распространения тундровых экосистем от преимущественного развития эволюционного и репродукционного типов автовосстановления нарушенной структуры, проявлений достаточности качественных и количественных показателей растительных ассоциаций для функционирования, полноты, стабильности структуры природных компонентов и в целом ландшафтного комплекса.

Заключение

Анализ динамики ареалов распространения лесных биоценозов, имеющих колоссальную ценность в системах биосферы Земли и круговоротов веществ и энергии в ней, в обстоятельствах изменений климатических условий на глобальном, региональном и локальном уровнях, позволит обществу наиболее эффективно взаимодействовать с лесными ландшафтами в повседневной и производственной деятельности.

Охарактеризованная для территории ДФО динамика распространения недифференцированных северо-таежных и северо-таежно-тундровых комплексов, основу которых составляют в основном светлохвойные и мелколиственные древесные растения, в пределах участков их контакта с тундровыми комплексами, показывает влияние на них процессов полнофункционального и полноценного автовосстановления структуры ландшафтных комплексов и наличие тенденции сокращения площади распространения тундровых экосистем.

Процессы полнофункционального и полноценного репродукционного и эволюционного автовосстановления нарушенной естественными и антропогенными факторами структуры ландшафтных комплексов являются одним из условий эффективной «самосборки» лесных и иных биоценозов в условиях текущих и меняющихся воздействий сочетаний зонально-азональных природных и антропогенных, антропогенно обусловленных условий и факторов. Высокий уровень интенсивности (скорости формирования, завершенности и полнофункциональности результатов) развития процессов полнофункционального автовосстановления структуры характерен для смешанных, широколиственных, южно-таежных и долинных северо-таежных ландшафтов территории ДФО.

Выявление закономерностей и региональной специфики динамики ареалов распространения лесных биоценозов с учетом формирования типов процессов, результатов полнофункционального и полноценного автовосстановления структуры лесных ландшафтных комплексов позволяет достоверно определять потенциальный уровень устойчивости лесных ландшафтов к различным внешним воздействиям. В последующем это позволит более обоснованно подходить к разработке схем рационального природопользования, природообустройства и охраны окружающей среды на основе применения актуальных принципов нормирования антропогенных нагрузок на природные компоненты, ландшафты.

Дальнейшее рассмотрение представленных аспектов анализа динамики состояний лесных ландшафтных комплексов является важным с точки зрения формирования научно обоснованной оптимизации антропогенных нагрузок в целом на геосистемы, биосферу Земли, формирования новых подходов к антропогенному восстановлению нарушенной структуры ландшафтов.

Список литературы

1. Сергиенко В.Г. Динамика границ лесорастительных зон России в условиях изменения климата // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2015. № 1. С. 5-19. URL: <https://spbniilh.ru/pdf/climaweek/spbniilh-proceedings-1-2015-1.pdf> (дата обращения: 18.06.2025).
2. Петрукович А.А. Наука космических высот // Русский космос. 2021. № 23. С. 18-27. URL: https://iki.cosmos.ru/sites/default/files/popular_article/pdf/01-23-2021.pdf (дата обращения: 18.06.2025).
3. Липка О.Н., Корзухин М.Д., Замолотчиков Д.Г., Добролюбов Н.Ю., Крыленко С.В., Богданович А.Ю., Семенов С.М. Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата // Лесоведение. 2021. № 5. С. 531-546. URL: <https://sciencejournals.ru/view-article/?j=lesved&y=2021&v=0&n=5&a=Les-Ved2105007> Lipka (дата обращения: 18.06.2025). DOI: 10.31857/S0024114821050077.
4. Леонова Н.А. Пространственно-временная трансформация растительности верхнего плато Приволжской возвышенности (в пределах Пензенской области) // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-1. С. 81-85. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34646> (дата обращения: 18.06.2025).
5. Михайлов К.Л., Богданов А.П. Влияние климатических изменений на лесопользование и воспроизводство лесов в материковых территориях арктической зоны европейского Севера России // Журнал прикладных исследований. 2023. № 6. С. 30-37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-klimaticheskikh-izmeneniy-na-lesopolzovanie-i-vozroizvodstvo-lesov-v-materikovykh-territoriyah-arkticheskoy-zony/viewer> (дата обращения: 18.06.2025). DOI: 10.47576/2949-1878_2023_6_30.
6. Константинов А. В. Сценарный подход к адаптации лесных экосистем российской федерации в условиях изменений климата // Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87. № 4. С. 558-567. URL: https://sciencejournals.ru/issues/izvgeo/2023/vol_87/iss_4/IzvGeo2304003Konstantinov/ IzvGeo 2304003Konstantinov.pdf (дата обращения: 18.06.2025). DOI: 10.31857/S2587556623040039.
7. Прожерина Н.А., Наквасина Е.Н. Изменение климата и его влияние на адаптацию и внутривидовую изменчивость хвойных пород Европейского Севера России // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. № 2. С. 9-25. URL: <https://journals.narfu.ru/index.php/fj/article/view/923/577> (дата обращения: 18.06.2025). DOI: 10.37482/0536-1036-2022-2-9-25.
8. Тишков А. А., Белоновская Е. А., Глазов П.М., Кренке А.Н., Пузаченко А.Ю., Тертицкий Г.М., Титова С.В. Тундра и лес российской Арктики: вектор взаимодействия в условиях современного потепления климата // Арктика: экология и экономика. 2020. № 3 (39). С. 48-61. URL: <http://eng.arctica-ac.ru/docs/journals/39/tundra-i-les-rossiyskoy-arktiki-vektor-vzaimodeystviya-v-usloviyah-sovremennogo-.pdf> (дата обращения: 18.06.2025). DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-48-61.
9. Алексеев И.А. Региональная специфика автовосстановления структуры антропогенно нарушенных лесных ландшафтов северо-восточной окраины Евразии: дис. ... докт. геогр. наук. Иркутск, 2024. 603 с. URL: https://igsbras.ru/uploads/theses/August2024/FyEmgeQ1jGLczyo-WTQZ0Szo3XpxNBIY_QhjUBsxur.pdf (дата обращения: 18.06.2025).
10. Калининцева С.В., Никифорова Н.Н., Максимов Н.А., Мисайлов И.Е., Федоров А.Н. Исследование наступления леса на тундру в регионе Восточной Сибири в условиях меняющегося климата с применением ГИС и данных дистанционного зондирования Земли // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия «Науки о Земле». 2021. № 4. С. 73-82. URL: <https://www.vnzsvfu.ru/jour/article/download/106/105> (дата обращения: 18.06.2025). DOI: 10.25587/SVFU.2021.24.4.017.
11. Трегубов О.Д. Об устойчивости тундр к техногенному воздействию и глобальным изменениям среды // Вестник ДВО РАН. 2010. № 4. С. 79-89. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-ustoychivosti-tundr-k-tehnogennomu-vozdeystviyu-i-globalnym-izmeneniyam-sredy/pdf> (дата обращения: 18.06.2025).
12. Каллаган Т.В., Величко А.А., Борисова О.К. Тундра в условиях меняющегося климата // Известия РАН. Серия географическая. 2010. № 4. С. 17-27. URL: https://www.researchgate.net/publication/290440165_Kallagan_TV_Velicko_AA_Borisova_OK_Tundra_v_usloviyah_menayushegosya_klimata_Izvestia_RAN_Seriya_geograficeskaa_2010_No_4_S_17-27 (дата обращения: 18.06.2025).
13. Рудинский М.Г. Возобновление лиственницы на северном пределе распространения (массив Ары-Мас, п-ов Таймыр) // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15687> (дата обращения: 18.06.2025).
14. Парфенова Е.И., Чебакова Н.М. Потенциальное распределение лесов в горах Южной Сибири и Серверной Монголии в связи с прогнозируемыми изменениями климата к середине века // Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87. № 7. С. 1019-1031. URL: https://sciencejournals.ru/issues/izvgeo/2023/vol_87/iss_7/IzvGeo2307012Parfenova/IzvGeo2307012Parfenova.pdf (дата обращения: 18.06.2025). DOI: 10.31857/S2587556623070129.
15. Алексеев И.А. К вопросу о процессах самовосстановления структуры ландшафтных комплексов, находящихся на стадии постантропогенного развития // Успехи современного естествознания. 2024. № 4. С. 22-27. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=38244> (дата обращения: 18.06.2025). DOI: 10.17513/use.38244.

УДК 551.467
DOI 10.17513/use.38416

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА НА БЕЛОМ МОРЕ В РАЙОНЕ СОЛОВЕЦКИХ ОСТРОВОВ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Баклагин В.Н., Махальская Н.И., Лукина Ю.Н.

*Институт водных проблем Севера – обособленное подразделение
ФГБУН Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр
Российской академии наук», Петрозаводск, e-mail: slava.baklagin@mail.ru*

Целью работы является получение статистических характеристик и закономерностей многолетней изменчивости формирования ледяного покрова в районе Соловецких островов путем анализа данных натурных гидрологических наблюдений за последние 40 лет (1980-2019 гг.). В качестве данных натурных наблюдений для формирования рядов основных элементов ледового режима моря (сроков наступления характерных фаз ледовых явлений и их продолжительности) в работе использованы данные регулярного гидрометеорологического государственного мониторинга с пунктов наблюдений на морских гидрометеорологических станциях 2-го разряда МГ-2 Соловки и МГ-2 Кемь-Порт, осуществляемого организациями Росгидромета на акватории Белого моря. Регрессионный анализ динамики дат устойчивого льдообразования в районе о. Соловки показал, что сроки начала льдообразования на 27 дней (почти на 4 недели) сдвинулись в сторону зимних месяцев. Сдвиг происходил со средней скоростью 6,2 дня/10 лет. А продолжительность ледового периода сократилась на 33 дней (на месяц). Уменьшение количества дней происходило со скоростью 8,4 дня/10 лет. Полученные данные о сдвигах сроков начала устойчивого льдообразования и дат очищения ото льда в сторону зимних месяцев, а также динамика по уменьшению продолжительности ледовых явлений должны быть учтены при составлении методологических материалов для осуществления гидропрогнозирования.

Ключевые слова: Соловецкие острова, Онежский залив, Белое море, ледовый режим, натурные данные

LONG-TERM VARIABILITY OF ICE CONCENTRATION IN THE SOLOVETSKY ISLANDS AREA BASED ON SITU DATA

Baklagin V.N., Makhalskaya N.I., Lukina Yu.N.

*Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre
of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, e-mail: slava.baklagin@mail.ru*

The purpose of the work is to obtain statistical characteristics and patterns of long-term variability of ice cover formation in the Solovetsky Islands area by analyzing in-situ hydrological observations over the past 40 years (1980-2019). The data of regular hydrometeorological state monitoring from observation points at the 2nd category marine hydrometeorological stations MG-2 Solovki and MG-2 Kem-Port, carried out by Roshydromet organizations in the White Sea, were used as in-situ observation data for forming series of the main elements of the sea ice regime (the timing of the onset of characteristic phases of ice phenomena and their duration). Regression analysis of dynamic of the dates of stable ice formation in the Solovki Island area showed that the onset dates of ice formation shifted towards the winter months by 27 days (4 weeks). The shift occurred at an average rate of 6.2 days/10 years. In addition, the duration of the ice period decreased by 33 days (by a month). The decrease in the number of days occurred at a rate of 8.4 days/10 years. The obtained data on the shifts in the dates of the onset of stable ice formation and the dates of ice clearance towards the winter months, as well as the dynamics of the decrease in the duration of ice phenomena, should be taken into account when compiling methodological materials for the implementation of hydroforecasting.

Keywords: Solovetsky Islands, Onega Bay, White Sea, ice regime, in situ data

Введение

Белое море является одним из важнейших объектов с точки зрения физических, климатических и экологических исследований. Оно относится к морям Северного Ледовитого океана, принадлежит к внутренним морям России. Море сообщается с Северным Ледовитым океаном через Баренцево море. Площадь Белого моря составляет около 90 000 км², а с площадью всех островов, расположенных на его акватории, 90 800 км². Максимальная глубина в море достигает 343 м, средняя глубина – 67 м,

объем воды – 6000 км³, протяженность береговой линии – 5093 км [1, с. 78]. Белое море разделено на три части (северную, среднюю и южную) и пять районов. К глубоководной части моря относятся 3 района: Бассейн, Кандалакшский залив (за исключением его вершины), а также Двинский залив. К мелководной части – Онежский и Мезенский заливы, пролив Воронка [1, с. 80].

Самой мелководной частью является Онежский залив. Он разделен с центральной частью акватории Соловецкими островами. Глубины в этом заливе составляют от 5 до 25 м [1, с. 80].

В течение зимнего периода большая часть площади акватории Белого моря является свободной ото льда [2; 3]. Устойчивое замерзание акватории ежегодно происходит в самом мелководном Онежском заливе и в 88% случаев из 100 в вершине Кандалакшского залива. Акватория самого мелководного Онежского залива ежегодно покрывается ледяным панцирем в среднем к середине декабря, в отдельные годы (1987, 1998, 2016) – в середине ноября [2].

Ледовый режим акватории Белого моря в районе Соловецких островов (Онежский залив) весьма своеобразен. Большая часть поверхности моря в этом районе в зимний период остается свободной ото льда. Полоса ледового припая шириной до 6 км, как правило, образуется лишь вокруг островов и вдоль материковой зоны. Даже в самые суровые зимы здесь на большей части акватории остаются открытые пространства воды с плавающими льдами.

Формирование устойчивого ледяного покрова в акватории Онежского залива в районе Соловецких островов начинается, как правило, в конце ноября – начале декабря, освобождение ото льда происходит к концу мая [2].

Наибольшая сплочённость льда в районе Онежского залива достигается с января по март. В апреле в результате ветровых явлений ледяной покров начинает разрушаться и частично выносятся в открытую часть Белого моря. В мае и начале июня остатки льда подвергаются таянию, а затем лёд полностью разрушается [4].

Ледяной покров в районе Соловецких островов представлен дрейфующим торосистым льдом. Он образует на отмелях и банках стамухи и ропаки. Припай (неподвижный лёд) образуется только у берегов, в заливах и бухтах. Толщина плавучего льда – около 35-40 см, в суровые зимы может достигать 1,5 м. В настоящее время территория Соловецкого архипелага является заповедником: начиная с 1992 года Соловецкие острова включены в список Всемирного наследия ЮНЕСКО, а в 1995 г. отнесены к особо ценным объектам природного и исторического наследия России [5]. Кроме того, это место активно используется для организации туристического отдыха [6, с. 45; 7, с. 10; 8, с. 121].

Продолжительность туристического сезона на Соловках ограничена [9], составляет всего четыре месяца. Поскольку острова расположены на акватории Белого моря, временной отрезок для посещения

Соловецкого архипелага туристами увязан с началом и окончанием навигационного периода, планирование которого напрямую зависит от ледовой обстановки в районе островов, как и для других частей акватории моря и других водоемов [3; 10]. Поэтому информация и актуальные сведения о ледовой обстановке в районе Соловецких островов имеют большое практическое значения для планирования туристического сезона.

Следует отметить, что последние исследования, посвященные оценке изменчивости характеристик ледового режима, показали существенные изменения в формировании ледяного покрова на Белом море в последние десятилетия, что, в свою очередь, не могло не отразиться и на сроках и продолжительности навигационного периода [2]. Однако это исследование базировалось на данных спутниковых наблюдений, которые не всегда корректно и достоверно могут классифицировать ячейки льда и воды, особенно с использованием микроволнового диапазона, который необходим для формирования регулярных рядов данных [11-13]. Например, применяемые алгоритмы дешифрирования не всегда точно описывают ледовую ситуацию, когда в период таяния на льду появляется вода, что вносит погрешности в расчеты [14]. Альтернативой спутниковым данным являются данные натурных наблюдений, которые хоть и не охватывают всю акваторию моря, но имеют неоспоримые преимущества в достоверности полученных сведений. Однако следует отметить, что рассматриваемый в работе участок акватории Белого моря в районе Соловецких островов не обладает большой площадью, а значит для его исследования вполне целесообразно применять именно данные натурных наблюдений.

Таким образом, **целью исследования** является получение статистических характеристик и закономерностей многолетней изменчивости формирования ледяного покрова в районе Соловецких островов путем анализа данных натурных гидрологических наблюдений за последние 40 лет (1980-2019 гг.).

Материалы и методы исследования

В качестве данных натурных наблюдений для формирования рядов основных элементов ледового режима моря (сроков наступления характерных фаз ледовых явлений и их продолжительности) в работе использованы данные регулярного гидрометеорологического государственного мониторинга с пунктов морских наблюдений,

осуществляемого организациями Росгидромета на акватории Белого моря за период с 1980 по 2019 г. На основании этих данных сформированы временные ряды дат устойчивого льдообразования, окончательного замерзания и полного очищения ото льда. За дату начала устойчивого льдообразования принимался день, начиная с которого льдообразование происходило непрерывно в течение не менее 30 дней, за исключением перерывов, связанных с оттепелью – 2 дня и ветровыми явлениями – 3 дня. За дату окончательного замерзания принимался день, когда вся акватория покрывалась припаем, который в дальнейшем фиксировался не менее 30 дней. За дату окончательного очищения ото льда принимался день, когда объект впервые становился абсолютно безлёдным на срок не менее 30 дней [15, с. 12].

В работе использованы данные результатов гидрометеорологических наблюдений на морских гидрометеорологических станциях 2-го разряда МГ-2 Соловки

и МГ-2 Кемь-Порт, относящихся к зоне деятельности Росгидромета (табл. 1, рис. 1).

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно обработке данных натурных наблюдений, на МГ-2 Соловки за 1980-2019 гг. устойчивое формирование ледяного покрова на Белом море в районе Соловецких островов начинается преимущественно в начале декабря (средняя дата – 02.12) (табл. 2). По данным натурных наблюдений, самая ранняя дата появления льда зафиксирована в начале ноября (06.11) в зимний сезон 1997-1998 гг., в условиях устойчивого похолодания. Переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С в сторону отрицательных значений в 1997 г. произошел 21 октября, в достаточно ранние сроки, кратковременные возвраты тепла были кратковременными и не оказали существенного влияния на формирование структуры и сплоченности льда.



Рис. 1. Схема расположения Соловецких островов на Белом море и пунктов гидрометеорологических наблюдений Росгидромета
Примечание: составлено авторами на основе данных Росгидромета [16]

Таблица 1

Перечень пунктов гидрометеорологических наблюдений Росгидромета
на Белом море в районе Соловецких островов

№ п/п	Название пункта наблюдений	Месторасположение НП	Координаты НП		Ведомственная принадлежность НП
			СШ	ВД	
1	МГ-2 Соловки	Архангельская обл., Онежский залив Белого моря	65° 01'	34° 42'	ФГБУ «Северное УГМС»
2	МГ-2 Кемь-Порт	Кемский район Республики Карелия	64° 59'	34° 48'	ФГБУ «Северное УГМС»

Примечание: составлено авторами на основе данных Росгидромета [16].

Таблица 2

Характерные показатели основных фаз ледового режима Белого моря
в районе о. Соловки (Онежский залив Белого моря) за период с 1980 по 2019 г.

Пункт морских наблюдений, территория	Дата	Фаза ледового режима		Продолжительность ледовых явлений (дни)	
		начало устойчивого льдообразования	очищение от льда		
МГ-2 Соловки	Средняя	02.12	18.05	Средняя	166
	Ранняя	06.11	05.05	Наименьшая	133
	Поздняя	05.01	03.06	Наибольшая	202

Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследований.

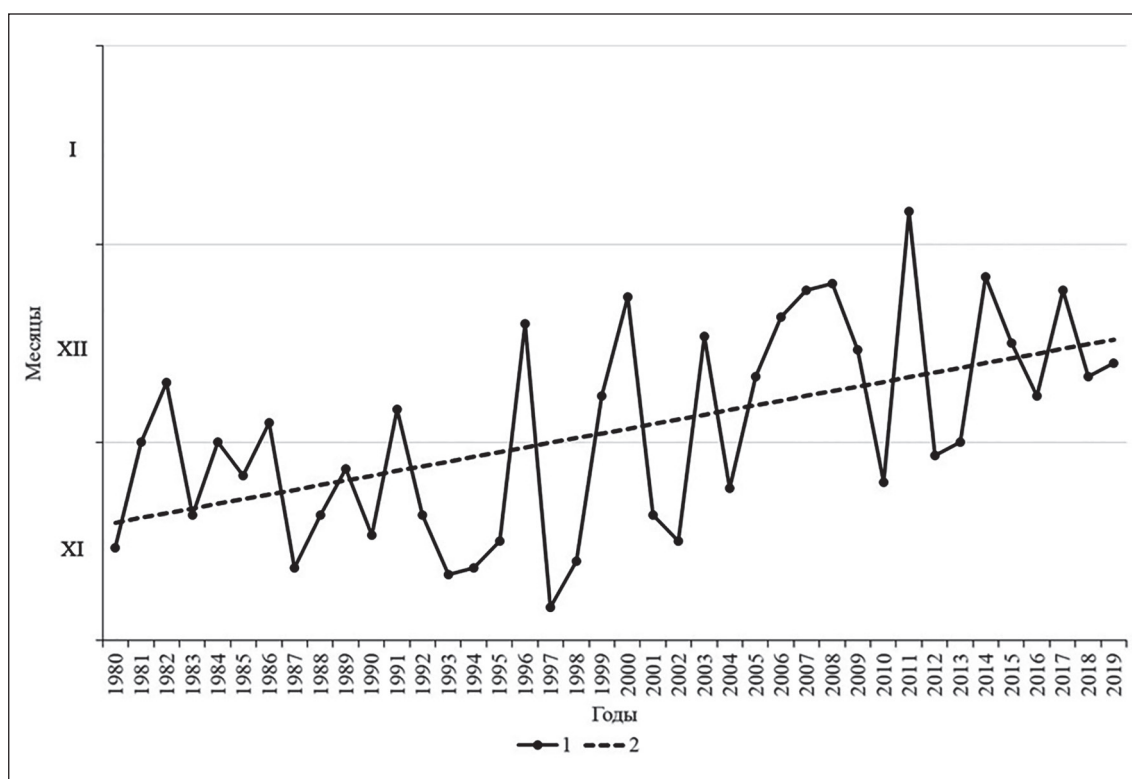


Рис. 2. Хронологический график устойчивого льдообразования
в районе Соловецких островов за 1980-2019 гг.

Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследований

Таблица 3

Параметры регрессионного анализа среднестатистических параметров фаз ледового режима Белого моря в районе о. Соловки за период с 1980 по 2019 г.

Показатели ледового режима	Тренд, дней/год	p-value	Значимость
Устойчивое льдообразование	$0,708 \pm 0,368$	0,0004	+
Очищение	-	0,1821	-
Продолжительность дней с ледовыми явлениями	$-0,844 \pm 0,428$	0,0003	+

Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследований.

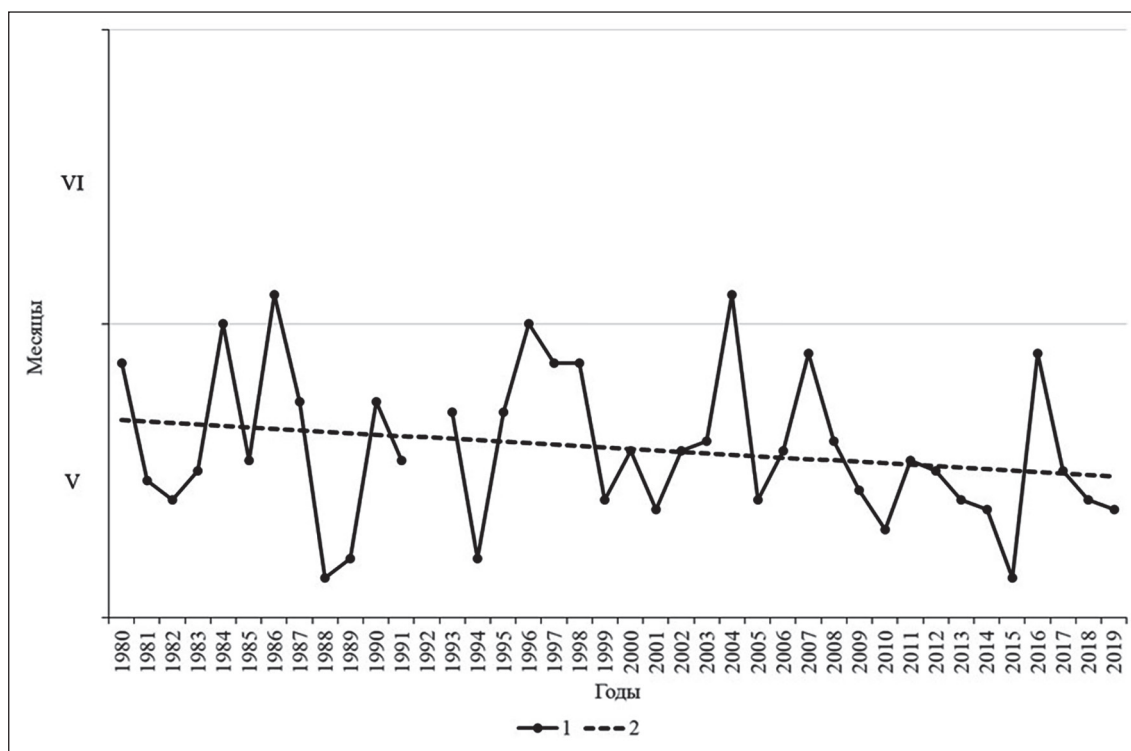


Рис. 3. Хронологический график дат окончательного очищения ото льда в районе Соловецких островов за 1980-2019 гг.

Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследований

Самое позднее льдообразование в районе о. Соловки за рассматриваемый ряд отмечено в зимний период 2011-2012 гг. (табл. 2). Несмотря на то, переход температур через 0°C в сторону отрицательных температур произошел в середине ноября 2011 г., из-за незначительных отрицательных температур воздуха и периодически возникающих положительных температур воздуха формирование ледяного покрова в районе Соловецких островов началось лишь в начале января 2012 года (05.01).

Регрессионный анализ ряда дат устойчивого льдообразования в районе о. Со-

ловки показал, что в исследуемый ряд лет (1980-2019 гг.) значение $p\text{-value}$ (0.0027) было ниже уровня значимости 5%, что свидетельствует о положительном статистически значимом линейном тренде (табл. 3), соответственно, рассматриваемый ряд не является однородным, а именно, сроки начала льдообразования на 27 дней (более чем на 3 недели) сдвинулись в сторону зимних месяцев. Сдвиг происходил со средней скоростью 6,2 дня/10 лет (рис. 2).

Сумма накопления отрицательных температур воздуха, необходимая для образования льда в район о. Соловки, в среднем составляет -91°C . Минимальная сумма на-

копления отрицательных температур -22°C , при которой в короткие сроки началось образование ледяного покрова, отмечена в ноябре 2012 года, после раннего перехода к отрицательным значениям (21.10) и чередования затоков холода и тепла, что в наибольшей степени связано с ветровым режимом на момент льдообразования и сформировавшимся тепловым балансом.

Максимальная сумма отрицательных температур воздуха, необходимых для льдообразования, составила -232°C , отмечена в 1992 году, в условиях раннего перехода температур к отрицательным значениям (10.10) и отсутствия возвратов тепла, что, вероятнее всего, связано с тепловым и ветровым воздействиями, повлиявшими на формирование льда.

Полное очищение ото льда водной поверхности Онежского залива Белого моря в районе Соловецких островов происходит, как правило, во второй половине мая (средняя дата 18.05). Самая ранняя дата очищения зафиксирована в начале мая (05.05) 1988 и 2015 гг., наиболее поздняя – в начале июня (03.06) 2004 года.

Регрессионный анализ ряда дат очищения ото льда акватории Белого моря в районе о. Соловки показал, что в исследуемый ряд лет значение $p\text{-value}$ (0,18) было выше уровня значимости 5% (табл. 3), что свидетельствует об отсутствии статистически значимого линейного тренда, соответственно, рассматриваемый ряд является однородным. Таким образом, сроки очищения ото льда не претерпели существенных изменений, сдвиг в сторону зимних месяцев составил лишь 6 дней (рис. 3).

Сумма накопления положительных температур воздуха, необходимая для полного очищения водной поверхности ото льда в районе Соловецких островов, в среднем равна 97°C . Минимальная сумма накопления (64°C), при которой произошло очищение, отмечена в мае 1985 г., максимальная – 214°C в период очищения в 2005 году.

Средняя продолжительность периода с ледовыми явлениями в районе Соловецких островов составляет 166 дней. Самая минимальная (133 дня) была зафиксирована в зиму 2011–2012 гг., связана с поздним образованием ледового покрова – в начале января 2012 г. Наиболее длительный период с ледовым покровом составил 202 дня, наблюдался в 1997–1998 гг. В этот год ледяной покров в заливе установился уже в начале ноября 1997 г., а полное очищение ото льда произошло лишь в конце мая 1998 г.

Регрессионный анализ ряда продолжительностей ледовых явлений в районе Соловецких островов показал, что исследуемый период имеет отрицательный статистически значимый линейный тренд, ряд неоднороден (значение $p\text{-value}$ – 0,0003 ниже уровня значимости 5%). Продолжительность ледового периода сократилась на 33 дня (на месяц), что объясняется сдвигом сроков льдообразования в сторону более поздних дат и более ранним очищением акватории ото льда. Уменьшение количества дней происходило со скоростью 8,4 дня/10 лет (табл. 3).

Заключение

Анализ временных рядов характерных сроков ледового режима выявил статистически значимые линейные тренды по срокам льдообразования и продолжительности периода с ледовыми явлениями. В результате регрессионного анализа установлено, что даты устойчивого льдообразования в районе исследования более чем на три недели сдвинулись в сторону зимних месяцев, смещение происходило со средней скоростью 7,1 дня/10 лет. Существенных изменений в сроках очищения ото льда водной акватории не произошло, до недели произошел сдвиг сроков очищения в сторону ранних дат. Средняя продолжительность ледового периода сократилась практически на месяц, уменьшение количества дней происходило со скоростью 8,4 дня/10 лет.

Полученные данные о сдвигах сроков начала устойчивого льдообразования и дат очищения ото льда в сторону зимних месяцев, а также динамика по уменьшению продолжительности ледовых явлений должны быть учтены при составлении методологических материалов для осуществления гидропрогнозирования.

Список литературы

1. Киселёв А.А. Белое море // Кольская энциклопедия. Т. 1. А–Д. Апатиты: КНЦ РАН, 2008. С. 306.
2. Баклагин В.Н. Многолетняя изменчивость сплоченности льда Белого моря по спутниковым данным // Лёд и Снег. 2022. № 62 (4). С. 579–590. URL: <https://ice-snow.igras.ru/jour/article/view/1089> (дата обращения: 20.06.2025). DOI: 10.31857/S2076673422040153.
3. Шалина Е.В. Региональные особенности изменения ледовой обстановки в морях российской Арктики и на трассе Северного морского пути по данным спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 5. С. 201–213. URL: <http://jrse.cosmos.ru/article.aspx?id=2427> (дата обращения: 20.05.2025). DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-201-213.
4. Баклагин В.Н., Лукина Ю.Н. Многолетняя изменчивость сплоченности льда в районе Соловецких островов // Успехи современного естествознания. 2024. № 9. С. 6–10. URL: <https://natural-sciences.ru/article/view?id=38303> (дата обращения: 26.06.2025). DOI: 10.17513/use.38303.

5. Севастьянов Д.В. Арктический туризм в Баренцевоморском регионе: современное состояние и границы возможного // *Арктика и Север*. 2020. № 39. С. 26–36. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/arkticheskiy-turizm-v-barentsevomorskom-regione-sovremennoe-sostoyanie-i-granitsy-vozmozhnogo> (дата обращения: 30.06.2025). DOI: 10.37482/issn2221-2698.2020.39.26.
6. Глуховский Б.Х. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том. 2. Вып. 1. Ленинград: Гидрометеониздат, 1991. 241 с.
7. Filatov N.N., Pozdnyakov D.V., Johannessen O.M., Pettersson L.H. White Sea: Its Marine Environment and Ecosystem Dynamics Influenced by Global Change. Chichester, UK: Springer-Praxis, 2005. 463 p. DOI: 10.1007/3-540-27695-5.
8. Думанская И.О. Ледовые условия морей европейской части России. Обнинск: ИГ–СОЦИН, 2014. 608 с. ISBN 978-5-91070-064-6.
9. Постановление Правительства Архангельской области от 24.04.2012 № 153 «Об утверждении долгосрочной целевой программы Архангельской области «Развитие инфраструктуры Соловецкого архипелага на 2012-2014 годы» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.regionz.ru/index.php?ds=1708043> (дата обращения: 06.05.2020).
10. Laliberté F., Howell S.E.L., Kushner P.J. Regional variability of a projected sea ice-free Arctic during the summer months // *Geophysical Research Letters*. 2016. V. 43. P. 256–263. URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2015GL066855> (дата обращения: 30.06.2025). DOI: 10.1002/2015GL066855.
11. Заболотских Е.В. Обзор методов восстановления параметров ледяного покрова по данным спутниковых микроволновых радиометров // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2019. Т. 55. № 1. С. 128–151. URL: <https://journals.eco-vector.com/0002-3515/article/download/11795/9272> (дата обращения: 30.06.2025). DOI: 10.31857/S0002-3515551128-151.
12. Kern S., Laverne T., Notz D., Pedersen L.T., Tonboe R.T., Saldo R., Sørensen A.M. Satellite passive microwave sea-ice concentration data set intercomparison: closed ice and ship-based observations // *The Cryosphere*. 2019. Vol. 13. P. 3261–3307. URL: <https://tc.copernicus.org/articles/13/3261/2019/> (дата обращения: 25.06.2025). DOI: 10.5194/tc-13-3261-2019.
13. Kern S., Laverne T., Notz D., Pedersen L.T., Tonboe R. Satellite passive microwave sea-ice concentration data set inter-comparison for Arctic summer conditions // *The Cryosphere*. 2020. Vol. 14. P. 2469–2493. URL: <https://tc.copernicus.org/articles/14/2469/2020/> (дата обращения: 25.06.2025). DOI: 10.5194/tc-14-2469-2020.
14. Spreen G., Kaleschke L., Heygster G. Sea ice remote sensing using AMSR-E 89 GHz channels // *Journal of Geophysical Research*. 2008. Vol. 113. C02S03. URL: <https://www.iup.uni-bremen.de/iuppage/psa/documents/spreen07.pdf> (дата обращения: 20.06.2025). DOI: 10.1029/2005JC003384.
15. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам РД 52.10.842-2017. Выпуск 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях и постах. Часть I. Гидрологические наблюдения на береговых станциях и постах. М.: ООО «Издательство ИТРК», 2017. 385 с.
16. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. [Электронный ресурс]. URL: meteo.ru (дата обращения: 25.06.2025).

УДК 502.6(571.150)
DOI 10.17513/use.38417

НЕКОТОРЫЕ ФАКТОРЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА БАРНАУЛА

Королева Е.Н., Сперанский Г.А., Сперанская Н.Ю., Мездрина В.А.

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», Барнаул,
e-mail: korka9919@mail.ru

В условиях нарастающей урбанизации усиливается экологическое давление на окружающую среду и здоровье населения. В связи с этим приоритетным становится создание устойчивой городской экосистемы. Цель исследования – анализ видового разнообразия зеленых насаждений парков г. Барнаула Алтайского края, основного элемента геоэкологической характеристики городской территории, анализ обеспеченности зелеными насаждениями в парках каждого жителя города, разработка предложений по развитию зеленого устройства. Основными методами являлись оценка видового состава древесных насаждений города и учет деревьев в каждом парке. Составлена схема обеспеченности зелеными насаждениями по районам города. Проанализирован видовой состав и численность основных родов деревьев в 13 парках. Выделены три группы по частоте встречаемости, наиболее распространенными являются березы, клены и тополя. Отмечено скудное видовое разнообразие древесных растений в парках. Предложены меры для создания оптимального зеленого обустройства г. Барнаула: создание экологического каркаса; увеличение количества зеленых насаждений; повышение качества древесных насаждений за счет расширения ассортимента; учет потребности жителей каждого района города в зеленых зонах, имеющих различную функциональную нагрузку.

Ключевые слова: город Барнаул, зеленое обустройство, зеленые насаждения, парки, комфортная городская среда

SOME FACTORS OF GEOECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE TERRITORY OF THE CITY OF BARNAUL

Koroleva E.N., Speranskiy G.A., Speranskaya N.Yu., Mezdrina V.A.

Altai State University, Barnaul, e-mail: korka9919@mail.ru

In the context of increasing urbanization, environmental pressure on the environment and public health is increasing. In this regard, the creation of a sustainable urban ecosystem becomes a priority. The aim of the study was to analyze the species diversity of green spaces in the parks of the city of Barnaul, Altai Krai, as the main element of the geoeological characteristics of the urban area, analyze the provision of green spaces in parks for each city resident, and develop proposals for the development of green devices. The main methods were the assessment of the species composition of the city's tree plantations and the accounting of trees in each park. A scheme of provision with green spaces by city districts was compiled. The species composition and number of the main genera of trees in 13 parks were analyzed. Three groups are distinguished by frequency of occurrence, the most common are: birches, maples and poplars. A poor species diversity of woody plants in the parks is noted. The following measures are proposed for creating an optimal green development of the city of Barnaul: creation of an ecological framework; increase in the number of green spaces; improvement of the quality of tree plantings by expanding the range; consideration of the needs of residents of each district of the city for green zones with different functional loads.

Keywords: city of Barnaul, green development, green spaces, parks, comfortable urban environment

Введение

В настоящее время во всем мире продолжается тенденция активной урбанизации – концентрации населения в городах. Причем данный процесс охватил все стороны жизни населения – его социальную, профессиональную и демографическую структуру, его образ жизни, культуру, размещение и т.д. Одним из ключевых элементов городской экосистемы являются зеленые насаждения, выполняющие различные функции, от санитарно-гигиенических до архитектурно-ландшафтных [1, 2]. Задачи зеленого обустройства стоят практически во всех городах мира [3, 4]. Не является исключением и город Барнаул – столица Алтайского края

с населением 688 тыс. чел. (по состоянию на 01.01.2025)¹.

Согласно докладу по охране окружающей среды 2023 г. большая часть природных комплексов города относится к территориям с напряженным экологическим состоянием².

Как и во многих городах, к ключевым антропогенным факторам относятся загрязнение от промышленных предприятий и транспорта.

¹ Статистика города Барнаула // Инвестиционный портал города Барнаула. [Электронный ресурс]. URL: <https://invest.barnaul.org/about/statistika-goroda-barnaula/> (дата обращения: 11.08.2025).

² Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды городского округа – города Барнаула Алтайского края в 2023 году». [Электронный ресурс]. URL: <https://barnaul.org/upload/medialibrary/c0f/5oq8gi5gikt3tlopxr5brgxy9o3balvq/Doklad-OOS2023.pdf> (дата обращения: 12.08.2025).

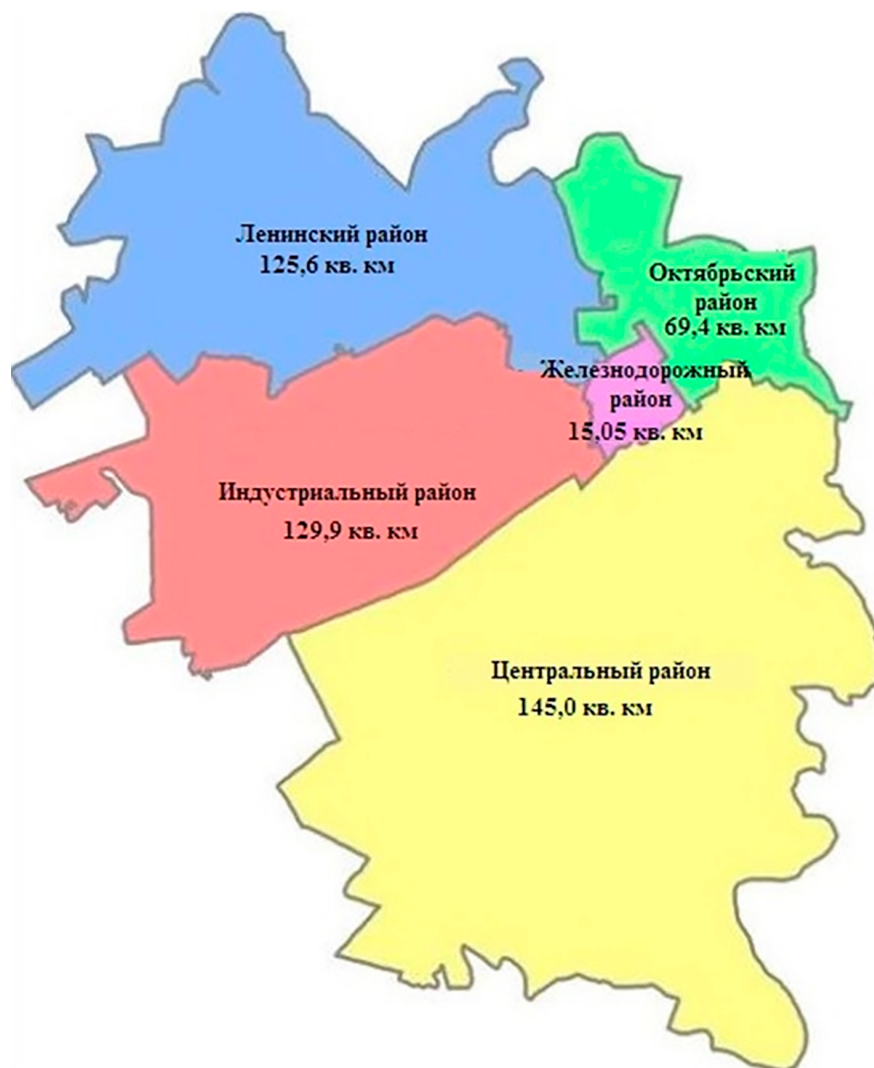


Рис. 1. Площадь территорий районов г. Барнаула
 Источник: составлено авторами на основе URL: <https://2gis.ru/barnaul>
 (дата обращения: 22.06.2025).

К острым экологическим проблемам жители краевого центра относят несанкционированные свалки (45%), а также загрязнение атмосферного воздуха (28%) и водных объектов (25%). Эти проблемы существенно снижают уровень экологической комфортности проживания населения [5].

Цель исследования – провести учет деревьев и анализ видового разнообразия зеленых насаждений парков г. Барнаула Алтайского края, как основного элемента геоэкологической характеристики городской территории, проанализировать обеспеченность зелеными насаждениями в парках на каждого жителя города, выявить отклонения от нормативов и разработать предложения по развитию зеленого устройства.

Материалы и методы исследования

Анализ зеленого обустройства Барнаула проведен путем оценки видового состава и численности древесных растений в насаждениях города в результате осмотра. При анализе обеспеченности зелеными насаждениями каждого жителя Барнаула использовался сравнительный метод и статистические данные по итогам Всероссийской переписи населения города по итогам 2025 г.³.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских

³ Численность населения России. [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/tab-5_VPN-2020.xlsx (дата обращения: 11.08.2025).

и сельских поселений» обеспеченность зелеными насаждениями общего пользования на одного жителя для крупных городов должна составлять не менее 10 кв. м на 1 чел.⁴

В Барнауле обеспеченность зелеными насаждениями меньше установленного нормами, однако это объективно, так как для обследования были взяты только парки города, а не все зеленые насаждения.

Из рис. 1 видно, что наибольшую площадь среди районов Барнаула занимают Центральный, Ленинский, Индустриальный районы, наименьшую площадь имеет Железнодорожный район.

При этом наибольшее количество проживающих жителей приходится на Индустриальный, Ленинский, Железнодорожный районы, а меньше всего проживает жителей в Центральном районе (рис. 2).

Обследование зеленых насаждений проходило на 13 участках в Барнауле: парк «Эдельвейс», Веревоочный парк, Изумрудный парк, парк «Арлекино», парк «Лесная сказка», парк «Солнечный ветер», парк культуры и отдыха Центрального района, Нагорный парк, Юбилейный парк, парк спорта им. А. Смертина, парк Целинников, парк им. В.И. Ленина, парк «Гулливер» (табл. 1).

Для анализа были выбраны все парки Барнаула согласно открытым источникам: Дубль Гис. Парки являются основным местом произрастания зеленых насаждений, и жители города посещают данные зеленые зоны чаще, чем скверы, зеленые уголки.

Из табл. 1 видно, что больше всего парков находятся в Ленинском районе (4 шт.), меньше всего – в Железнодорожном районе (1 шт.), при этом градация парков по площади аналогична: Ленинский район – 40,5 га, Железнодорожный район – 1,0 га.

Путем применения следующего расчета была выделена обеспеченность зелеными насаждениями парков каждого жителя города в каждом районе: площадь парков в районе разделена на количество проживающих в данном районе жителей (рис. 3).

Согласно проведенному расчету наиболее комфортным местом для проживания жителей является Ленинский район (обеспеченность зелеными насаждениями парков 3,2 м²), несмотря на то, что по общей площади территорий среди пяти районов он за-

нимает только 3-е место, а по количеству проживающих жителей – только 2-е место. Железнодорожный район появился на карте города еще в 1938 г. и считается старейшим районом. Своим появлением данная территория обязана активному строительству Алтайской железной дороги и станции, которая постепенно стала обрастать объектами промышленности. Именно данный район является наиболее неблагоприятным для проживания (обеспеченность зелеными насаждениями парков 0,096 м² на 1 чел.). На Октябрьский и Центральный районы приходится 2,3 и 2,35 м² на 1 чел. соответственно. В Индустриальном районе один житель обеспечен зелеными насаждениями парков в размере 1,12 м², несмотря на то, что этот район является самым большим по площади территории. В результате анализа установлено, что парковые зоны ни в одном районе города не соответствуют требованиям СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» и не достигают обеспеченности зелеными насаждениями общего пользования 10 м² на 1 чел.

В результате обследования 289152 деревьев зафиксировано наибольшее количество деревьев в трех парках: Юбилейный парк, парк им. В.И. Ленина, Изумрудный парк. Среди данных парков большей территорией обладают Юбилейный (57 га) и Изумрудный (18,6 га) парки соответственно, количество произрастающих деревьев обосновано. Состояние парковых насаждений в значительной степени зависит от местоположения посадок [6].

В парке им. В.И. Ленина 18 га, а количество деревьев 32130 шт., что говорит о загроможденности территории и необходимости реконструкции зеленых насаждений. Меньше всего высаженных зеленых насаждений произрастает в парке «Гулливер» и Веревоочном парке (Центральном и Железнодорожном районах), что обусловлено точечной застройкой в данных частях города. В этих парках преобладают деревья и очень мало кустарников, такое соотношение негативно сказывается на состоянии насаждений [7].

Также проведен анализ встречаемости видов древесных растений в парках г. Барнаула. В парках города произрастает 11 родов деревьев. Роды насчитывают от 1 до 5 видов, наиболее богато видами семейство соевых. Внутри рода большим разнообразием отличается род клен (4 вида). Частота встречаемости отдельных родов значительно варьирует (рис. 4).

⁴ СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений»: утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 28 декабря 2010 г. № 820 и введен в действие с 20 мая 2011 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200084712> (дата обращения: 24.07.2025).

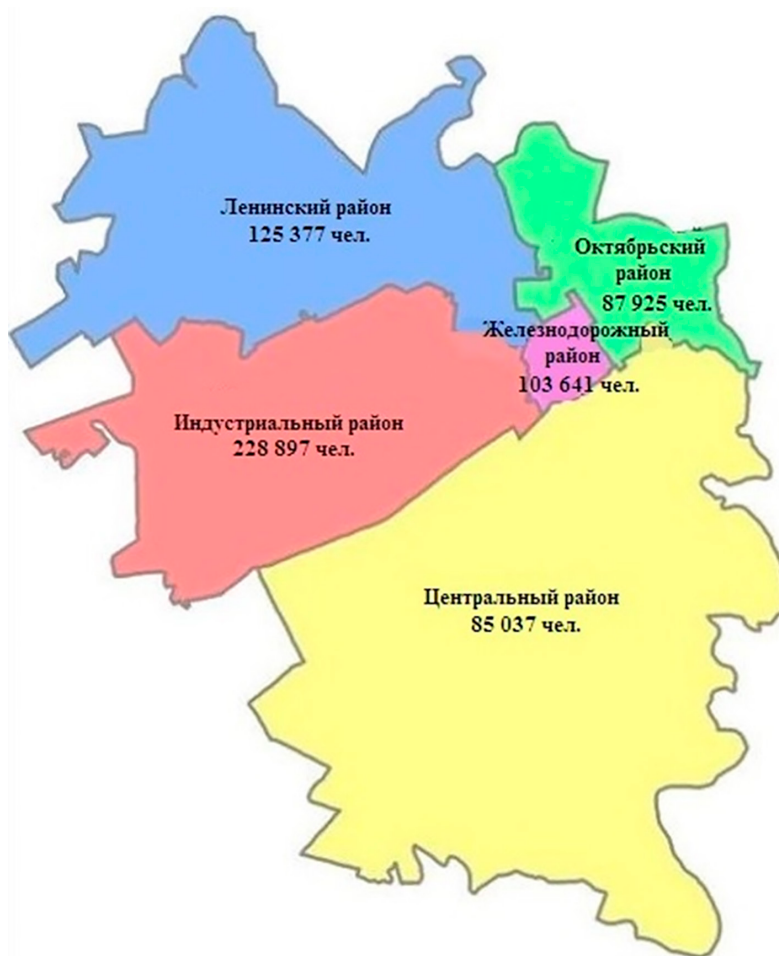


Рис. 2. Количество жителей, проживающих на территории районов г. Барнаула
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Таблица 1

Характеристика парков г. Барнаула

№ п/п	Наименование района / общая площадь парков, га	Наименование парка	Кол-во деревьев, шт.	Площадь парков, га
1	Центральный район / 20 га	Парк Центрального района г. Барнаула	170	5,0
2		Нагорный парк	331	14,0
3		Веревошный парк	88	1,0
4	Индустриальный район / 25,75 га	Парк спорта им. А. Смертина	332	1,0
5		Парк «Лесная сказка»	576	6,75
6		Парк В.И. Ленина	32130	18,0
7	Ленинский район / 40,5 га	Юбилейный парк	250676	14,0
8		Парк «Арлекино»	1050	8,0
9		Парк Целинников	450	13,0
10		Парк «Эдельвейс»	980	5,5
11	Октябрьский район / 20,25 га	Парк «Солнечный ветер»	190	1,75
12		Изумрудный парк	1672	18,5
13	Железнодорожный район / 1 га	Парк «Гулливер»	47	1,0

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования.

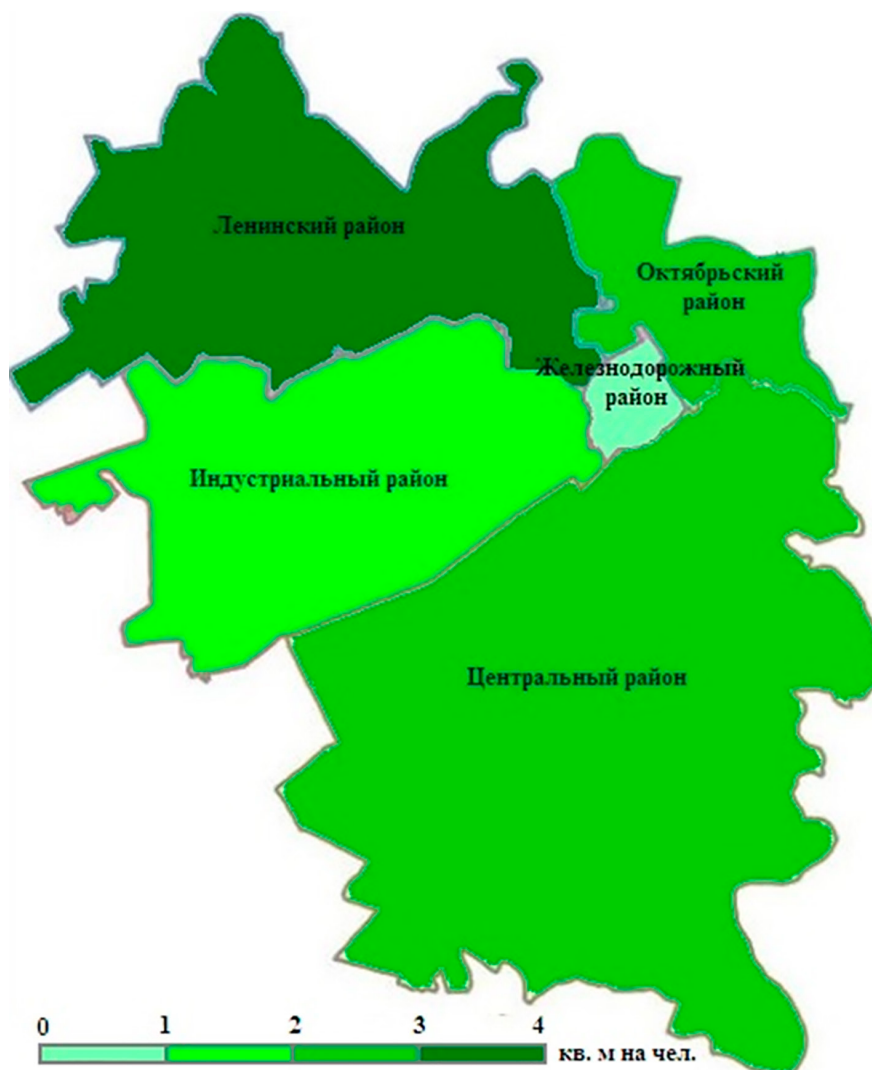


Рис. 3. Обеспеченность зелеными насаждениями в парках на одного жителя
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

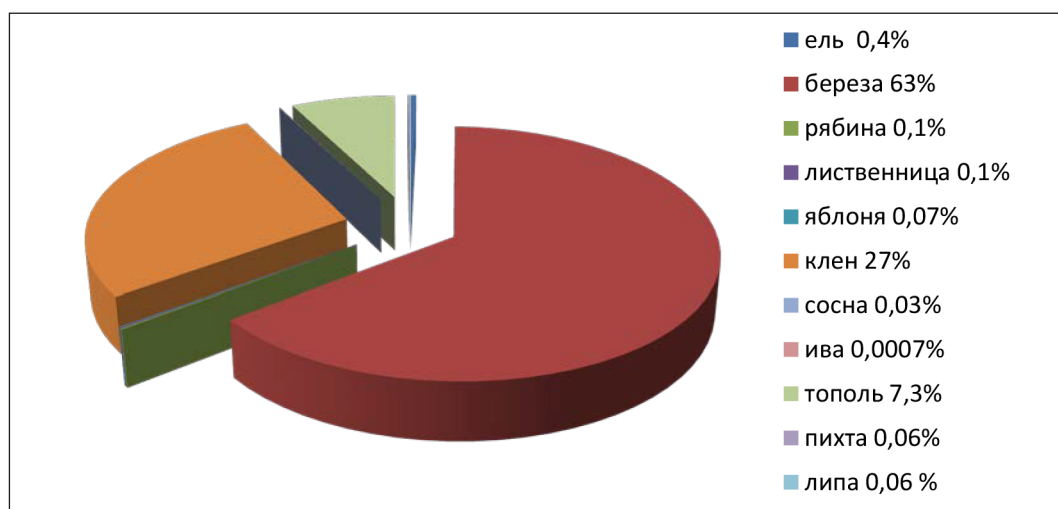


Рис. 4. Встречаемость древесных растений в парках г. Барнаула
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Таблица 2

Встречаемость родов древесных насаждений в парках г. Барнаула

№ п/п	Наименование парка	Наименование деревьев и процент их встречаемости
1	Парк Центрального района г. Барнаула	Ель 26 %, береза 32 %, рябина 3 %, лиственница 4 %, яблоня 2 %, клен 7 %, сосна 8 %, ива 1 %, тополь 7 %
2	Нагорный парк	Ель 22 %, береза 28 %, лиственница 4 %, яблоня 6 %, клен 9 %, тополь 10 %, пихта 3 %, липа 18 %
3	Парк Целинников	Ель 14 %, береза 44 %, клены 42 %
4	Парк спорта им. А. Смертина	Ель 15 %, береза 33 %, клен 3 %, лиственница 3 %, сосна 9 %, тополь 30 %, пихта 7 %
5	Парк «Лесная сказка»	Ель 33 %, береза 21 %, рябина 9 %, лиственница 8 %, яблоня 4 %, клен 5 %, сосна 5 %, тополь 12 %, пихта 3 %
6	Парк В.И. Ленина	Береза 6 %, рябина 0,01 %, яблоня 0,05 %, клен 92 %, тополь 1 %
7	Юбилейный парк	Ель 0,2 %, береза 71 %, рябина 0,04 %, яблоня 0,02 %, клен 20 %, тополь 8,74 %
8	Парк «Арлекино»	Ель 9 %, береза 58 %, лиственница 9 %, клен 19 %, сосна 5 %
9	Парк «Солнечный ветер»	Ель 8 %, береза 27 %, яблоня 3 %, клен 15 %, тополь 31 %, липа 16 %
10	Изумрудный парк	Ель 4 %, береза 16 %, рябина 9 %, яблоня 5 %, клен 24 %, сосна 0,1 %, тополь 33 %, пихта 3 %, липа 5,9 %
11	Парк «Эдельвейс»	Ель 10 %, береза 40 %, рябина 3 %, лиственница 30 %, ива 2 %, тополь 6 %, пихта 9 %
12	Веревоочный парк	Ель 22 %, береза 11 %, сосна 57 %, пихта 10 %
13	Парк «Гулливёр»	Ель 25 %, лиственница 4 %, яблоня 22 %, клен 6 %, тополь 43 %

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования.

Преобладают во всех парках города одни и те же деревья: березы (63 %), клены (27 %) тополя (7,3 %). Это обусловлено следующими факторами:

– эти растения неприхотливы при посадке, так как березы и тополя – это аборигенные виды, а клены обладают большой экологической пластичностью;

– в парках большая площадь, а саженцы этих деревьев всегда были наиболее доступны в большом количестве;

– клены доминируют в связи с максимальной неприхотливостью, хорошей приживаемостью. Однако наиболее распространенный клен ясенелистный активно размножается самосевом и часто образует монодоминантные одновозрастные насаждения. В регионе этот вид процветает в нарушенных местообитаниях, где агрессивно конкурирует с местной флорой [8]. В сочетании с высокой аллелопатической активностью и отсутствием планомерной работы по замене данного вида более эффективными растениями это приводит к формированию мертвопокровных зарослей с низкими декоративными качествами и устойчивостью к загрязнению воздуха [9]. Ярким при-

мером может служить парк им. В.И. Ленина, с большим массивом клена ясенелистного, в котором больше ничего не растет. Это приводит к снижению средообразующей, социально-экономической и экологической значимости клена [10]. Перспективным является использование в озеленении видов клена, отличающихся высокой декоративностью: клен татарский, клен гиннала, клен платанолистный [11].

В следующей группе родов с частотой встречаемости меньше 1 % относятся виды елей, лиственница, рябина. Такие высокодекоративные растения, как сосна, пихта, липа, ива и яблоня, встречаются очень редко (меньше 0,1 %).

Сравнение видов интродуцентов и аборигенов показывает преобладание последних за счет доминирования берез в большинстве парков. При этом видовое разнообразие местных деревьев небольшое: кроме березы повислой это ель сибирская, рябина сибирская, сосна обыкновенная, пихта сибирская, ива белая, ива трехтычинковая, лиственница. К интродуцентам относятся: ель колючая голубая, липа, клен гиннала, клен платанолистный,

тополь бальзамический, клен ясенелистный, сорта яблонь и некоторых ив. В насаждениях они представлены слабо (кроме тополя и клена ясенелистного), что делает ландшафт парков менее разнообразным. В то же время некоторые интродуценты, чувствительные к климатическим изменениям, могут давать слабый прирост в связи со снижением количества осадков в весенний период [12].

Анализ встречаемости отдельных родов в каждом парке г. Барнаула представлен в табл. 2.

Больше всего берез произрастает в Юбилейном парке (71%), парке «Арлекино» (58%), парке имени В.И. Ленина (6%). Тополь произрастает на большей площади следующих территорий: Юбилейный парк (8,74%), Изумрудный парк (33%), парк им. В. И. Ленина (1%). Кленом большие территории заняты в Юбилейном парке (20%), парке имени В.И. Ленина (92%), Изумрудном парке (24%).

Хотелось бы отметить, что разнообразие зеленых насаждений имеет место быть на следующих участках: парк Центрального района, парк «Лесная сказка», Изумрудный парк. Из 11 родов деревьев практически все произрастают на территориях этих парков. Это связано с тем, что в данных парках проводятся плановый снос и посадка деревьев за счет средств собственника земельных участков. В парке «Гулливер» и парке Целинников зафиксировано наименьшее разнообразие в родах деревьев. Основными родами деревьев являются: ель, береза, клен, тополь, яблоня. Перспективное направление, опыт вертикального озеленения в парках, практически отсутствует и носит экспериментальный характер [13]. Вместе с тем вертикальное озеленение должно использоваться для создания «зеленых экранов» в целях защиты от ветра и изоляции отдельных участков и площадок [14] и для создания искусственных посадок [15]. Разнообразие видового состава насаждений имеет большое значение, так как оно напрямую связано с качеством зеленых зон. Во-первых, более сложные насаждения являются более устойчивыми экосистемами. Во-вторых, использование разных видов и сортов деревьев и кустарников создает визуальный ряд, который остается привлекательным во все сезоны года.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что насаждения зеленых зон г. Барнаула требуют реконструкции и оптимизации, а также разработки ряда ме-

роприятий по улучшению санитарно-гигиенических условий жилой застройки.

Заключение

Таким образом, для создания оптимального зеленого обустройства Барнаула необходимо принятие следующих мер:

1. Увеличить количество зеленых насаждений в Железнодорожном районе города для ликвидации последствий негативного воздействия предприятий промышленности на жителей.

2. Увеличить устройство скверов и парков в Индустриальном районе, где идет интенсивная застройка для увеличения индекса качества городской среды.

3. Учитывать потребности жителей каждого района города в зеленых зонах, имеющих различную функциональную нагрузку.

4. Повысить качество существующих древесных насаждений за счет расширения ассортимента древесных растений, а также использования адаптированного посадочного материала.

5. Разработать единый экологический каркас, включающий все зеленые зоны и водные объекты, который будет включен во все планы развития города.

Вышеуказанные мероприятия позволят создать благоприятную среду Барнаула и улучшить комфортное проживание жителей.

Список литературы

1. Вебер А.А., Кучеров А.С. Использование деревьев и кустарников в озеленении городов // Садоводство России. 2021. № 1 (16). С. 5–13. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48642073> (дата обращения: 21.06.2025). EDN: EUYKLM.
2. Калманова В.Б. Роль геоэкологического анализа при территориальном планировании городов // Региональные проблемы. 2017. Т. 20. № 4. С. 74–78. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30711150> (дата обращения: 24.06.2025). EDN: ZWBIYT.
3. Ковачев А.Д. Значение городской системы озеленения Софии для успешного развития города // Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона. 2013. С. 494–499. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21052754> (дата обращения: 24.06.2025). EDN: RSSDHB.
4. Кошуева К.Б., Жумабаева Т.Т., Адылмырзаева К.А. Система озеленения в свете решений экологических проблем городов Кыргызстана (на примере города Ош) // Исследование живой природы Кыргызстана. 2024. № 1. С. 38–41. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=78998831> (дата обращения: 25.06.2025). EDN: BZQALQ.
5. Otto O.V. Ecological comfort of the urban environment on the example of the city of Barnaul // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14, Is. 2. С. 282–295. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ecological-comfort-of-the-urban-environment-on-the-example-of-the-city-of-barnaul> (дата обращения: 20.06.2025). DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-2-282-295.
6. Кириллов С.Н., Половинкина Ю.С. Экология и природопользование. Оценка состояния зеленых насаждений общего пользования г. Волгограда // Экология и природополь-

зование. 2013. № 1 (5). С. 29–34. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sostoyaniya-zelenyh-nasazhdeniy-obshchego-polzovaniya-g-volgograda/viewer> (дата обращения: 22.0.2025).

7. Рулев А.С. Оценка современного состояния полза- щитных лесных полос различной продуваемости // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Т. 14. № 5. С. 152–165. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-5-152-165. EDN: OIYARE.

8. Ovcharova N.V., Silantyeva M.M., Vaganov A.V., Ma- sanina A.A. Invasion dynamics of *Acer negundo* L. in ribbon for- ests of the Altai Krai: ecological impacts and predictive habitat modeling // *Acta Biologica Sibirica*. 2024. No. 10. P. 1673–1688. DOI: 10.5281/zenodo.14437657.

9. Нестеренко В.М., Москаленко И.В., Авраменко М.В., Анищенко Л.Н. Дополнения к долговременной оценке среды урбоэкосистем с использованием фоновых видов растений зеленых зон // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16. № 4. С. 105–125. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-873.

10. Silantyeva M.M., Ovcharova N.V., Terekhina T.A. Dis- tribution of *Acer negundo* L. in Altai Krai // *Acta Biologica Sibir- ica*. 2021. Vol. 7. P. 63–76. DOI: 10.3897/abs.7.e62111.

11. Чернявская И.В. Род *Acer* L. в озеленении горо- да Майкопа (Республика Адыгея) // *Географическая гра-*

мотность населения: природные системы и хозяйственная деятельность. 2023. С. 30–33. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predstaviteli-roda-acer-l-v-ozelenenii-maykopa/viewer> (дата обращения: 30.06.2025).

12. Кучеров С.Е., Кучерова С.В., Мартыненко В.Б., Вельмовский П.В. Климатический сигнал в годичных слоях дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на юго-восточной гра- нице его ареала в бассейне р. Урал // *Юг России: экология, развитие*. 2023. Т. 18. № 1 (66). С. 34–45. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-34-45.

13. Лейкина Д., Океанов Г., Бенуж А. Вертикальное озеленение. Опыт нормирования // *Academia. Архитекту- ра и строительство*. 2024. № 2. С. 71–79. URL: <https://aac.gaasn.ru/index.php/aac/article/view/607> (дата обращения: 30.07.2025). DOI: 10.22337/2077-9038-2024-2-71-79.

14. Соколова К.И. Экология в вертикальном озелене- нии здания // *Творчество и современность*. 2020. № 1 (12). С. 114–117. URL: <https://nsktvs.ru/node/254> (дата обращения: 30.07.2025).

15. Михайлова Т.А., Шергина О.В., Миронова А.С., Чеснаков Д.А. Аккумуляция взвешенных частиц город- скими лесами из загрязненного воздуха // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Т. 14. № 5. С. 27–48. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-5-27-48.

УДК 911.3(571.63)
DOI 10.17513/use.38418

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПОЛЛИНОЗАМИ ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА В РАЙОНАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

¹Лозовская С.А., ¹Изергина Е.В., ¹Латышева Л.А., ²Цывкина Г.И., ²Григорьева Н.В.

¹ФГБУН «Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения
Российской академии наук», Владивосток, e-mail: geogr@tigdvo.ru;

²Региональный клинический центр аллергологии и иммунологии
ГАУЗ «Краевой клинический центр специализированных видов медицинской помощи»,
Владивосток

На основании анализа тестов (аллергопроб), выполненных в «Краевом клиническом центре специализированных видов медицинской помощи» Приморского края у детей 1-7 лет, проживающих в районах Приморского края (физико-географических провинциях), выделены территории края с высокими рисками заболеваемости поллинозами для детей дошкольного возраста. Для исследования использовались базы данных с результатами обследования детей в районах Приморского края. Районы Приморского края, схожие по ландшафтам, климатическим условиям и составу растительности, были объединены в физико-географические провинции. Рассмотрена роль природных и антропогенных факторов в формировании поллинозов у детей в различных районах края. Проведенный анализ показал, что наибольшее число детей с положительными пыльцевыми аллергопробами и наиболее высокий процент положительных проб зафиксирован на юге Приморья. В проявлении аллергических реакций особое значение приобретают такие природные и экологические факторы, как биоразнообразие растительности районов края, показатели температуры и влажности воздуха, уровень загрязнения атмосферы выбросами промышленных предприятий и автотранспорта. Самые поллинозоопасные растения в крае – амброзия, полынь, лебеда. Полученные результаты необходимы для составления программ по восстановлению здоровья детей в Приморском крае.

Ключевые слова: экологические и природные факторы, районы Приморского края, дети дошкольного возраста, поллинозы

INFLUENCE OF NATURAL AND ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE FORMATION OF POLLINOSIS DISEASES IN PRESCHOOL CHILDREN IN THE AREAS OF PRIMORSKY KRAI

¹Lozovskaya S.A., ¹Izergina E.V., ¹Latysheva L.A., ²Tsyvkina G.I., ²Grigoreva N.V.

¹Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Academy of Sciences,
Vladivostok, e-mail: geogr@tigdvo.ru;

²Regional clinical center specialized types of medical care, Vladivostok

Based on the analysis of tests (allergoprobes) performed in the “Regional Clinical Center for Specialized types of Medical Care” of Primorsky Krai, children aged 1-7 years living in the districts of Primorsky Krai (physico-geographical provinces), territories of the region with high risks of morbidity with pollinosis for preschool children were identified. Databases with the results of the survey of children in the Primorsky Territory were used for the study. The regions of Primorsky Krai, similar in landscapes, climatic parameters and vegetation composition, were combined into physical and geographical provinces to carry out comprehensive measures to restore health. The role of natural and anthropogenic factors in the formation of pollinosis in children in various regions of the region is considered. The analysis showed that the largest number of children with positive pollen allergy tests and the highest percent of allergic reactions, the special importance of positive samples were recorded in the south of Primorye. In the manifestation of allergic reactions, such natural and environmental factors as the biodiversity of vegetation in the regions of the region, air temperature and humidity indicators, the level of atmospheric pollution by emissions from industrial enterprises and motor vehicles are of particular importance. The most pollinozoic plants in the region are ragweed, wormwood, and quinoa. The results obtained are necessary for the preparation of programs to restore the health of children in the Primorsky Territory.

Keywords: environmental and natural factors, pollinosis, primorsky krai districts, preschool children.

Введение

В последние годы аллергические заболевания стали одними из самых быстро распространяющихся заболеваний в мире среди детей и взрослых и заняли третье место после сердечно-сосудистых и онкологических, а в некоторых экологически неблаго-

получных регионах вышли на первое место. Согласно данным эпидемиологических исследований, от 10 до 30% населения различных стран страдают аллергией [1]. Для возникновения и развития аллергических заболеваний имеют значение как природные, так и экологические факторы. Влияние эко-

логической обстановки на аллергиков связано с уровнем антропогенного загрязнения внешней среды обитания человека, и прежде всего атмосферного воздуха [2; 3]. Помимо этого, окружающая среда сама может быть источником природных аллергенов, таких как пыльца растений. Различные климатические условия (температура, влажность воздуха) могут как усиливать симптомы аллергии, так и снижать их [4]. Сенсибилизация (накопление) аллергенов в организме ребенка происходит в течении 7-8 лет. После этого аллергические реакции на пыльцу растений проявляются активно. Однако при наличии антропогенного загрязнения окружающей среды аллергические реакции проявляются в более раннем возрасте. Аллергологи [5] высказывают мнение, что при антропогенном загрязнении окружающей среды происходит соединение пыльцевой частицы с поллютантом, усиливающим ее воздействие на организм. Поэтому аллергические заболевания чаще встречаются в урбанизированных регионах, чем в сельской местности.

Цель исследования: определить территории края с высокими природными и экологическими факторами влияния на формирование заболеваемости поллинозами детей дошкольного возраста.

Материалы и методы исследования

Материалами для анализа послужили результаты тестов на аллергическую предрасположенность детей (1-7 лет) из различных районов края к 4 группам аллергенов (пыльцевые, бытовые, пищевые, эпидермальные) по данным обращаемости пациентов в «Краевой клинический центр специализированных видов медицинской помощи» (ГАУЗ) города Владивостока в 2009, 2017, 2021 годах. Полученный массив данных структурирован и систематизирован в базы данных, зарегистрированных в патентном бюро [6- 8]. Всего обследован 1161 ребенок по обращаемости в центр. Объем настоящей публикации ограничен только анализом факторов риска возникновения поллинозов среди дошкольников. Информация была проанализирована с помощью целевой неслучайной выборки по методу доступных случаев, согласно зарегистрированным в ГАУЗ данным по обращениям детей с подозрением на аллергическую предрасположенность. Статистическая обработка материалов проводилась с использованием программ Microsoft Excel [9]. Районирование территории При-

морского края выполнено по принципу объединения районов, близких по составу ландшафтов, климатических условий и растительных сообществ в физико-географические области и провинции на основе «Атласа Приморского края» [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Основными природными факторами для Приморья, влияющими на концентрацию аллергенов в воздухе, являются высокая относительная влажность воздуха и видовой состав растений. При умеренной влажности пыльца растений набухает и оседает, поэтому её концентрация в воздухе снижается. Однако в условиях повышенной влажности воздуха происходит высвобождение белковых структур из пыльцевого зерна, которые способны проникать глубоко в дыхательные пути и вызывать более тяжёлые реакции у аллергиков [4; 5].

Приморский край отличается большим разнообразием растительного сообщества. Здесь можно встретить около 420 разных видов деревьев, лиан, кустарников и разнотравья, которые в период цветения выбрасывают в воздух большое количество пыльцы. Одно растение может продуцировать до пяти миллионов пыльцевых зерен. Очень небольшая часть пыльцы идет на оплодотворение растения, а вся остальная активно распространяется в воздухе, что приводит к обострению симптомов у людей с поллинозом [3; 5]. Распространение и периоды цветения поллинозоопасных видов растений на территории Приморского края представлены на рисунке 1а. Самая высокая степень поллинозной опасности на территории края отмечается в мае и июне. К наиболее распространенным растениям-аллергенам в крае относятся: ольха, орешник, ива, береза, клен, дуб, липа, злаковые, полынь, амброзия, лебеда, подорожник. Аллергии на цветение амброзии, полыни и лебеды – самая большая угроза для Приморского края, особенно весной и летом.

По результатам районирования территории (рис. 1б) Приморского края было выделено 6 провинций:

1. Хасано-Гродековская низкогорно-приморская провинция (районы Пограничный, Октябрьский, Надеждинский, Хасанский) – 79 детей обследовано.

2. Восточно-Сихотэ-Алинская горно-приморская провинция (районы Тернейский, Дальнегорский, Кавалеровский, Ольгинский, Лазовский) – 74 ребенка обследовано.

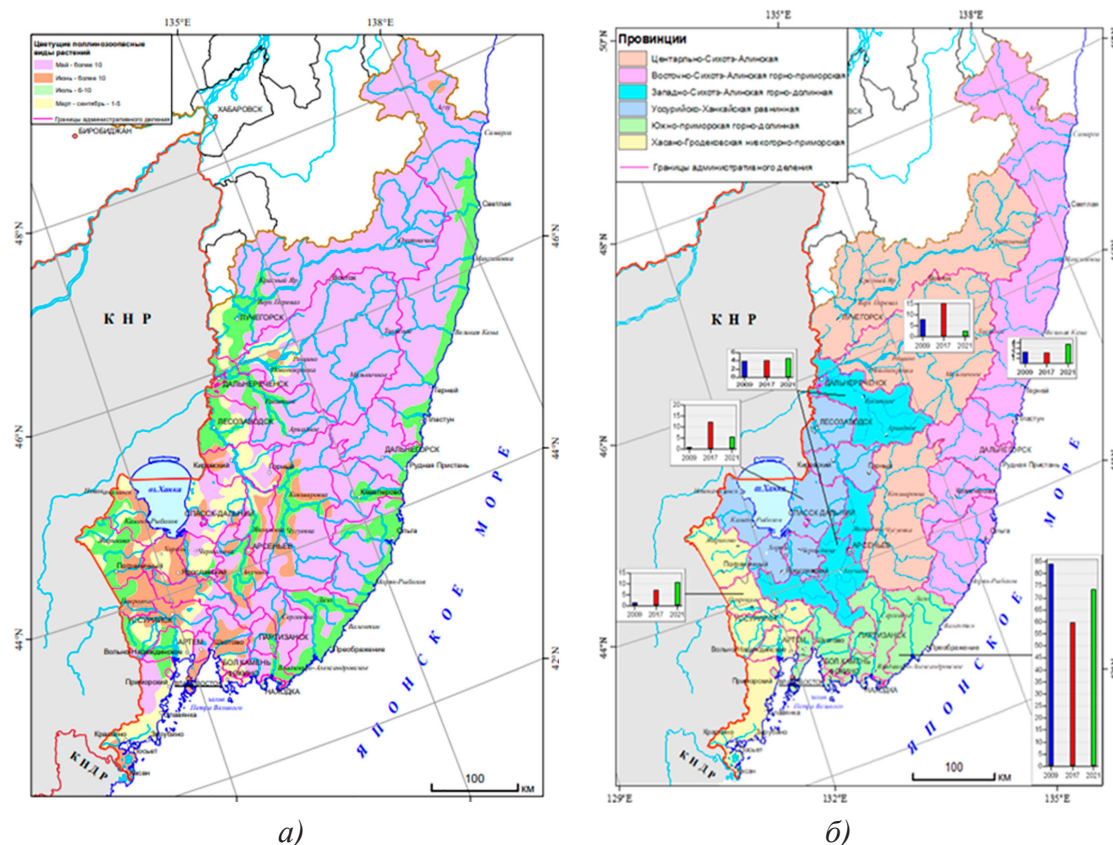


Рис. 1. Влияние различных факторов на уровень заболевания поллинозом: а) распространение и периоды цветения поллинозоопасных видов растений на территории Приморского края. Сиреневый цвет – май, оранжевый цвет – июнь, зеленый цвет – июль, желтый цвет – март – сентябрь [10]; б) процент положительных пыльцевых аллергопроб среди детей, проживающих в различных физико-географических провинциях Приморского края (2009, 2017, 2021 гг.)
Источник: составлено Краснопеевым С.А. (ФГБУН «ТИГ ДВО РАН») по данным [6-8;10].

3. Центрально-Сихотэ-Алинская (районы Пожарский, Красноармейский, Чугуевский) – 49 детей обследовано.

4. Западно-Сихотэ-Алинская горно-долинная провинция (районы Дальнереченский, Яковлевский, Анучинский, Михайловский, Арсеньев) – 114 детей обследовано.

5. Уссури-Ханкайская равнинная провинция (районы Ханкайский, Кировский, Спасский, Хорольский, Черниговский, Лесозаводский) – 108 детей обследовано.

6. Южно-Приморская горно-долинная провинция (районы Шкотовский, Партизанский, г. Владивосток, г. Находка, п. Фокино, г. Артем, Уссурийск) – 733 ребенка обследовано.

Число обследованных детей до 7 лет в различных физико-географических провинциях отличалось по годам и территориям. Самое большое число обследованных детей зарегистрировано в 2021 году, что в 4 раза больше, чем в 2009, и в 5 раз больше, чем в 2017 году. Количество положительных аллергопроб на пыльцу растений

в разные годы в провинциях края колебалось от 0,8% до 84% [11]. В южных районах края число обращений детей было значительно выше, чем в северных. Самый высокий процент положительных аллергопроб среди детей до 7 лет был зафиксирован в 2021 году (до 84%) в Южно-Приморской горно-долинной провинции (рис. 1б). В этой провинции полученные результаты были вполне репрезентативны (достоверность 95%), в отличие от других провинций края, и отражали полную картину сенсibilизации дошкольников пыльцевыми аллергенами. Эта провинция находится близко к ГАУЗ в г. Владивостоке, куда обращаются дети со всех провинций края (в 2021 году – 734 ребенка). В других провинциях края результаты обследования детей оказались менее репрезентативны (достоверность менее 80%) и не отразили действительной ситуации по аллергической опасности для детей в данных регионах. В связи со значительной удаленностью этих провинций от Центра обследования детей во Владивостоке и сложной транспортной

доступностью в них направляют на обследование намного меньше детей. Тем не менее на втором месте (с большим отрывом) находится Хасано-Гродековская низкогорно-приморская провинция (до 15,2%), на третьем – Западно-Сихотэ-Алинская горно-долинная провинция и Уссури-Ханкайская равнинная провинция (до 12,2% и 10,7% соответственно).

Однако острота клинических проявлений сенсibilизации не всегда коррелирует с уровнем содержания пылевых зерен в воздушной среде. Экологические факторы могут оказать существенное и неоднозначное влияние на раннюю сенсibilизацию организма ребенка и способствовать снижению его защитных сил. Вклад антропогенных факторов в заболеваемость детского населения составляет 10,0-56,9% и зависит от возраста детей: наиболее подвержены воздействию экологических факторов маленькие дети, с рождения и до 7 лет [12]. Одним из главных экологических факторов, влияющих на состояние аллергиков, является загрязнение атмосферного воздуха, которое может усиливать симптомы аллергических заболеваний или провоцировать их появление. Частицы выхлопных газов, особенно дизельных, способны адсорбировать аллергены и пролонгировать их воздействие, повышать агрессивность и аллергенность пыли и, как следствие, обо-

стрять и усиливать клинические симптомы у сенсibilизированных лиц [13; 14]. Статистическая обработка полученных данных по методу Пирсона [9] показала наличие тесных взаимосвязей (при уровне значимости 0,05) количества сенсibilизированных детей с общими объемами выбросов загрязняющих веществ в атмосферу ($r=0.67-0.86$) и выбросами загрязняющих веществ в атмосферу без очистки ($r=0.96-0.99$) [15].

В последние годы в Приморье значительно возросло количество автотранспорта, в т. ч. неудовлетворительного технического состояния. Этот факт, а также низкое качество топлива повлекли увеличение объемов выхлопных газов и сказались на ухудшении качества атмосферного воздуха. Кроме пыли, в воздухе присутствует множество мелкодисперсных частиц, которые тоже могут проникать глубоко в дыхательные пути и раздражать слизистые оболочки носоглотки [4]. Высокие статистически достоверные коэффициенты влияния выхлопных газов на сенсibilизацию детей получены нами с такими косвенными показателями, как число грузовых автомобилей и пикапов по провинциям края ($r=0.98-0.99$) [15]. Выхлопные выбросы действуют на детей младшего возраста намного значительнее, чем на взрослых. Это объясняется тем, что самая большая концентрация выбросов находится на уровне лица маленьких детей [5].



Рис. 2. Связь загрязнения атмосферного воздуха и числа положительных аллергопроб по физико-географическим провинциям в Приморском крае за 2021 год
Источник: составлено на основании данных авторов и данных о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу по районам Приморского края [15]

Анализ статистических данных по объемам выбросов загрязняющих веществ за отдельные периоды времени (2009, 2017, 2021 гг.) на территории края показал, что самые высокие показатели наблюдались в 2021 году [15], тогда же было зарегистрировано по краю самое большое число обращений детей и отмечен самый высокий процент положительных аллергопроб на пыльцу растений. Сопоставление количества положительных аллергопроб с объемами атмосферных выбросов показало наиболее заметную связь в густозаселенных провинциях Приморья: Южно-Приморской горно-долинной, Уссури-Ханкайской и Западно-Сихотэ-Алинской горно-долинной (рис. 2). Это, вероятно, связано с функционированием развитой и разнообразной производственной структуры, более высокой концентрацией людей и насыщенной транспортной составляющей, что способствовало ухудшению экологической ситуации на территориях данных провинций и, как следствие, обострению аллергических реакций населения. В Центрально-Сихотэ-Алинской провинции с низкой плотностью населения связь загрязнения атмосферного воздуха и числа положительных аллергопроб прослеживается слабо.

Реконструкция и модернизация очистных сооружений в последние годы позволила значительно сократить объемы выбросов загрязняющих веществ без очистки на территории данной провинции и снизила показатели выбросов загрязняющих веществ на 1 км² площади до 2,4 т. Тогда как на территориях Южно-Приморской горно-долинной, Уссури-Ханкайской и Западно-Сихотэ-Алинской горно-долинной провинций этот показатель колеблется от 101 до 142 т на 1 км² площади [15].

Заключение

Проведенные исследования показали, что основными природными факторами, влияющими на динамику содержания аллергенной пыльцы в атмосфере районов Приморского края, являются: местоположение различных районов на территории края, высокий уровень биоразнообразия растительности, сроки пыления растений, теплый влажный климат с высокими средними летними температурами и повышенной влажностью воздуха. Важным экологическим фактором в проявлении аллергических реакций населения является высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий

и автомобильного транспорта. Установлено, что наиболее высокий процент детей с положительными аллергопробами фиксируется в Южно-Приморской горно-долинной провинции, выделяющейся наиболее высокой плотностью городских образований, сетью автомобильных дорог и самыми высокими объемами выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Аллергическая сенсibilизация детей пылью растений становится причиной дальнейшего развития тяжелых аллергических заболеваний при взаимодействии с независимыми факторами окружающей среды. Рекомендуется создание в муниципальных поликлиниках края аллергологических диагностических кабинетов с возможностью онлайн-консультаций с Центром ГАУЗ для дифференциальной диагностики пациентов. Сохранению здоровья детей также будет способствовать организация станций пыльцевого мониторинга в районах края по примеру г. Владивостока и снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Список литературы

1. Назарова Е.В. Изменение климата и его воздействие на развитие аллергических заболеваний // Российский аллергологический журнал. 2020. Т. 17. № 4 С. 7–18. URL: <https://rusalljournal.ru/ra/article/view/1386> (дата обращения 18.06.2025). DOI: 10.36691/RJA1386.
2. Ревич Б.А. Изменение климата в России – проблемы общественного здоровья // Общественное здоровье. 2021. № 1 (4). С. 5–14. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-klimata-v-rossii-problemy-obshchestvennogo-zdorovya> (дата обращения: 18.06.2025).
3. Мигачёва Н.Б. Пыльцевая аллергия и пыльцевая сенсibilизация: новый взгляд на старую проблему // Аллергология и иммунология в педиатрии. 2022. № 1 (68). С. 4–15. DOI: 10.53529/2500-1175-2022-1-4-15. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pyltsevaya-allergiya-i-pyltsevaya-sensibilizatsiya-novyy-vzglyad-na-staruyu-problemu> (дата обращения: 18.06.2025).
4. Кобзарь В. Н. Аллергенная пыльца как индикатор изменения климата // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4, № 11. С. 23–30. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/allergennaya-pyltsa-kak-indikator-izmeneniya-klimata> (дата обращения: 18.06.2025).
5. Мартынов-Радушский А.А., Мартынов А.И., Ильина Н.И., Лусс Л.В., Федоскова Т.Г., Назарова Е.В. Влияние негативных факторов окружающей среды на свойства пыльцы растений // Эффективная фармакотерапия. 2015. № 20. С. 32–35. URL: <https://umedp.ru/upload/iblock/224/martynov.pdf> (дата обращения: 18.06.2025).
6. Показатели аллергопроб населения Приморского края за 2009 год. Изергина Е.В., Лозовская С.А., Цывкина Г.И., Григорьева Н.В., Луценко Г.А. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2023622933, 24.08.2023. Заявка № 2023622696 от 14.08.2023.
7. Показатели аллергопроб на бытовые и эпидермальные аллергены у детей Приморского края в 2018-2019 годах. Изергина Е.В., Лозовская С.А., Цывкина Г.И., Григорьева Н.В., Луценко Г.А., Гуляева Т.П., Петрова О.В. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2025620037, 09.01.2025. Заявка № 2024625333 от 14.11.2024.

8. Аллергии у детей Приморского края до 7 лет в 2021 году. Изергина Е.В., Лозовская С.А., Цывкина Г.И., Григорьева Н.В., Гуляева Т.П. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2024621139, 18.03.2024. Заявка № 2024620779 от 05.03.2024.
9. Чехлыстова Ю.А., Ельшин В.Р., Глазкова М.Ю. Проверка гипотезы о распределении. Критерий Пирсона // International Journal of Professional Science. 2024. № 11-2. С. 65–73. URL: http://scipro.ru/article/PS_11_2_2024-65-73-1.pdf (дата обращения: 25.06.2025).
10. Атлас Приморского края / кол. авт. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2008. 24 с. ISBN 978-5-91169-018-2.
11. Изергина Е.В., Лозовская С.А. Аллергии у детей в различных районах Приморского края // Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные и социально-экономические факторы и структуры: сборник научных статей. Владивосток, 2024. С. 291–293. DOI: 10.35735/9785604968338_291. ISBN 978-5-6049683-3-8.
12. Asher M.I., Rutter C.E., Bissell K., Chiang C.Y., El Sony A., Ellwood E, Ellwood P., Garcia-Marcos L, Marks G.B., Morales E., Mortimer K., Pérez-Fernández V., Robertson S., Silverwood R.J., Strachan D.P., Pearce N. Worldwide trends in the burden of asthma symptoms in school-aged children: Global Asthma Network Phase I cross-sectional study // Lancet. 2021. Vol. 398(10311). P. 1569–1580. URL: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10138110/> (дата обращения: 18.06.2025). DOI: 10.1016/S0140-6736(21)01450-1.
13. Педько А.Д., Пиксаева М.Г. Влияние загрязнения окружающей природной среды на здоровье человека // Вестник науки. 2025. № 4 (85). Т. 2. С. 1108–1113. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-zagryazneniya-okruzhayuschey-prirodnoy-sredy-na-zdorovie-cheloveka> (дата обращения: 18.06.2025).
14. Канина А.Р. Влияние загрязненного воздуха на здоровье человека // The Scientific Heritage. 2021. № 78-2(78). С. 15–16. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-78-2-15-16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-zagryaznennogo-vozduha-na-zdorovie-cheloveka> (дата обращения: 18.06.2025).
15. Природные ресурсы и охрана окружающей среды в Приморском крае. Стат. сборник. Владивосток: Приморскстат, 2023. 81 с.

УДК 504.4.054:543.3(470.54-25)
DOI 10.17513/use.38419

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ И АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА

¹Харина Г.В., ¹Белова К.А., ²Алешина Л.В., ³Раскатова Е.А.

¹ФГАОУ ВО «Уральский государственный педагогический университет»,
Екатеринбург, e-mail: gykharina32@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», Екатеринбург;

³Нижнетагильский государственный социально-педагогический институт
(филиал) УрГПУ, Нижний Тагил

Цель работы заключалась в комплексной оценке качества водопроводной воды, поставляемой населению Екатеринбурга, а также в анализе функционирования системы централизованного водоснабжения города. Была определена задача картографической визуализации результатов анализа проб воды, взятых в разных районах города. Проведен анализ 52 проб воды системы централизованного водоснабжения. Качество воды оценивалось по следующим показателям: жесткость, окисляемость, pH, содержание нитратов, ионов свинца и меди. Исследования проводились титриметрическим и потенциометрическими методами. Показаны пути попадания химических загрязнителей в водопроводную сеть. Рассмотрены факторы опасности таких загрязнителей, как нитраты и ионы свинца. Обнаружено, что более 30% исследуемых проб не соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям качества. Выявлена наиболее неблагоприятная экологическая ситуация по значениям окисляемости и содержанию свинца в Орджоникидзевском районе города. Рассчитаны значения канцерогенного риска здоровью потребителей водопроводной воды, загрязненной свинцом. Выявлено, что максимальные (неприемлемые) значения канцерогенного риска соответствуют пробам воды из Орджоникидзевского района. Отмечено, что основной причиной загрязнения воды является коррозионное разрушение водопроводных труб в связи с высокой степенью их изношенности, а также сбой в работе устаревших технических систем водоподготовки. По результатам исследований составлена интерактивная информационная карта качества питьевой воды в Екатеринбурге. Приведены пути решения проблемы неудовлетворительного качества водопроводной воды.

Ключевые слова: загрязнители, централизованное водоснабжение, водопроводная вода, трубопровод, качество воды, канцерогенный риск

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF TAP WATER AND ANALYSIS OF THE FUNCTIONING OF THE CENTRALIZED WATER SUPPLY SYSTEM IN YEKATERINBURG

¹Kharina G.V., ¹Belova K.A., ²Alyoshina L.V., ³Raskatova E.A.

¹Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg, e-mail: gykharina32@yandex.ru;

²Ural state University of Economics, Yekaterinburg;

³Nizhny Tagil State Socio-Pedagogical Institute (branch) of USPU, Nizhny Tagil

The purpose of the work was to comprehensively assess the quality of tap water supplied to the population of Yekaterinburg, as well as to analyze the functioning of the city's centralized water supply system. The task of cartographic visualization of the results of the analysis of water samples taken in different areas of the city was determined. The analysis of 52 water samples of the centralized water supply system was carried out. The water quality was assessed according to the following indicators: hardness, oxidizability, pH, nitrate content, lead and copper ions. The studies were carried out using titrimetric and potentiometric methods. The ways of chemical pollutants entering the water supply network are shown. The hazard factors of pollutants such as nitrates and lead ions are considered. It was found that more than 30% of the samples studied do not meet the sanitary and hygienic quality requirements. The most unfavorable environmental situation in terms of oxidizability and lead content in the Ordzhonikidze district of the city has been identified. The values of the carcinogenic risk to the health of consumers of tap water contaminated with lead have been calculated. It was revealed that the maximum (unacceptable) values of carcinogenic risk correspond to water samples from Ordzhonikidze district. It is noted that the main cause of water pollution is the corrosive destruction of water pipes due to their high degree of deterioration, as well as failures in the operation of outdated technical water treatment systems. Based on the research results, an interactive information map of drinking water quality in Yekaterinburg has been compiled. The ways of solving the problem of unsatisfactory quality of tap water are given.

Keywords: pollutants, centralized water supply, tap water, pipeline, water quality, carcinogenic risk

Введение

Во всех крупных населенных пунктах подача питьевой воды потребителю осуществляется в основном централизованно. При этом эксплуатируемые водопроводные сети, как правило, находятся в ветхом состоянии, обусловленном превышением нормативных сроков службы. Подобная ситуация провоцирует развитие биокоррозии труб и способствует инфильтрации загрязняющих веществ из внешней среды. Кроме того, водопроводные трубы зачастую характеризуются небольшим диаметром, что влечет за собой значительные потери напора воды.

В Екатеринбурге к главным водоснабжающим объектам относятся Верхнемакаровское и Волчихинское водохранилища на реке Чусовой [1]. Процесс приведения характеристик воды в соответствие с санитарно-гигиеническими нормативами осуществляется в результате многоступенчатого процесса очистки на трех фильтровальных станциях города: Сортировочной, головных сооружений водопровода, Западной. Тем не менее качество питьевой воды в Екатеринбурге с каждым годом ухудшается. Последнее обусловлено не только малоэффективными очистными сооружениями, но и нарушением гигиенических требований к эксплуатации технических систем водоподготовки, а также высокой степенью износа водопроводных сетей, приводящего к вторичному загрязнению воды [2; 3]. На сегодняшний день основную часть (около 70%) водопроводной сети, обслуживаемой МУП «Водоканал», составляют чугунные трубы. Стальные трубы занимают значительно меньшую долю – 26%, а трубы из полимеров и других материалов используются в минимальном объеме (всего 4%). Длительный срок службы чугунных и стальных труб приводит к их внутреннему обрастанию микроорганизмами и коррозии [4]. Эти процессы ухудшают качество воды, загрязняя ее тяжелыми металлами и органическими соединениями, а также негативно влияют на ее органолептические свойства, такие как запах, вкус и прозрачность.

Цель работы заключалась в комплексной оценке качества водопроводной воды, поставляемой населению Екатеринбурга, а также в анализе функционирования системы централизованного водоснабжения города. Была определена задача картографической визуализации результатов анализа проб воды, взятых в разных районах города.

Материалы и методы исследований

Исследования были выполнены в учебно-исследовательской лаборатории химии и экологии Уральского государственного педагогического университета в рамках научно-исследовательского студенческого проекта «Экологический мониторинг».

Пробы водопроводной воды были отобраны в герметичные стеклянные емкости объемом 600 см³ и проанализированы по следующим показателям: жесткость, окисляемость, pH, содержание нитратов и тяжелых металлов (свинца и меди). Пункты отбора проб включали жилые дома, административные, медицинские и образовательные учреждения, находящиеся в разных районах города. Всего было проанализировано 52 пробы: Академический район – 3 пробы; Верх-Исетский – 3; Железнодорожный – 8; Кировский – 5, Ленинский – 4; Октябрьский – 3; Орджоникидзевский – 20; Чкаловский район – 6 проб. Эксперимент по определению качества воды проводился в период с 20.01.2024 г. по 30.06.2024 г.

При проведении исследования использовали следующие методы анализа: титриметрический (для определения жесткости и окисляемости) и потенциометрический (для определения pH, содержания нитратов, свинца и меди).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 1.

Анализ данных, приведенных в таблице 1, свидетельствует, что жесткость, pH и концентрация меди в исследованных образцах воды находятся в пределах нормы. Однако в некоторых пробах зафиксировано превышение допустимых значений окисляемости, содержания свинца и нитратов.

Окисляемость представляет собой содержание легкоокисляющихся органических веществ естественного и антропогенного происхождения. К последним относятся продукты разложения различных отходов, содержащихся в коммунально-бытовых и промышленных сточных водах. Загрязнение питьевой воды из системы централизованного водоснабжения органическими соединениями может быть вызвано либо низкой эффективностью работы фильтровальной станции, либо высокой степенью изношенности водопроводных труб. Из таблицы 1 видно, что повышенной окисляемостью характеризуются семь проб, причем четыре из них отобраны в Орджоникидзевском районе.

Таблица 1

Значения показателей качества исследуемых проб воды

№	Адрес отбора пробы	$J_{\text{общ}}^*$ ммоль/дм ³	X , мгО ₂ /л Н ₂ О	pH	C_{NO_3} мг/дм ³	$C_{\text{Pb}^{2+}}$ мг/дм ³	$C_{\text{Cu}^{2+}}$ мг/дм ³
	ПДК	7 ммоль/дм ³	5 мгО ₂ /л Н ₂ О	6-9	45 мг/л	0,03 мг/л	1,0 мг/л
1.	Ильича, 26	2,40	4,32	7,93	5,30	-	-
2.	Победы, 94	2,00	5,00	7,83	0,62	-	0,01
3.	Кузнецова, 14	2,10	3,50	7,90	3,10	-	0,01
4.	Рутминского, 2	2,40	3,36	8,00	1,55	0,06	-
5.	Краснолесья, 93	3,81	4,52	7,81	7,55	0,05	0,52
6.	Стрелочников, 9	2,30	7,20	7,88	-	-	0,18
7.	Орджоникидзе, 4а	2,06	5,20	8,12	0,90	-	-
8.	Ломоносова, 44	2,50	3,30	6,61	4,03	-	-
9.	Комсомольская, 14а	3,88	4,03	7,24	3,10	-	-
10.	Индустрии, 66	3,30	3,61	8,02	1,20	-	-
11.	Репина, 20	2,24	2,67	7,35	6,20	-	-
12.	Шварца, 20	2,16	3,16	7,27	4,65	-	-
13.	Агрономическая, 12	2,38	2,14	7,29	62,00	-	-
14.	Сиреневый бульвар, 14	2,84	3,68	8,16	2,79	0,02	0,02
15.	Стахановская, 32	2,82	6,80	7,18	0,62	0,20	0,05
16.	Ильича, 5а	2,50	3,24	7,92	0,56	-	-
17.	Ломоносова, 34	2,50	3,30	8,05	0,46	0,02	-
18.	Щербакова, 37	2,88	3,20	8,01	0,30	-	-
19.	Индустрии, 55	2,64	5,76	7,98	2,48	0,02	0,02
20.	Шефская, 10	1,10	5,44	7,81	0,30	-	-
21.	Народного Фронта, 72	3,32	1,76	6,50	62,00	2,07	0,15
22.	Луначарского, 83	2,76	4,48	7,79	3,72	-	0,62
23.	Индустрии, 24	0,96	2,16	6,44	40,30	6,21	0,33
24.	Советская, 58	2,70	3,96	7,44	0,06	0,02	-
25.	Начдива Онуфриева, 44	2,66	3,96	7,59	0,01	-	-
26.	Дорожная, 18	2,64	5,84	7,20	0,06	0,10	-
27.	Фурманова, 114	2,66	3,06	7,90	0,06	0,02	-
28.	Хмелева, 6	2,68	3,57	7,36	0,06	0,02	-
29.	Бажова, 193	2,68	3,53	7,23	0,30	0,02	-
30.	Щербакова, 3/1	2,70	3,20	7,34	0,56	-	-
31.	Техническая, 12	2,70	3,92	7,17	0,51		
32.	Таганская, 57	1,76	4,48	6,83	-	1,68	0,01
33.	Уктусская, 46	2,40	3,60	7,34	3,10	-	-
34.	Культуры, 4	2,76	4,00	7,60	4,34	-	-
35.	Экспо-бульвар, 2	2,20	3,23	7,53	3,41	-	-
36.	Данилы Зверева, 7в	2,68	5,61	7,68	3,72	-	-
37.	Фронтových Бригад, 7	2,72	3,54	7,37	3,72	1,05	0,19
38.	Маневровая, 25	2,48	3,76	6,13	4,65	0,80	0,03
39.	Машиностроителей, 30	2,56	3,92	7,11	4,03	-	-
40.	Токарей, 44/2	2,64	2,80	7,50	5,27	-	-
41.	Восстания, 91	2,68	3,76	7,45	4,96	-	-

Окончание табл. 1

№	Адрес отбора пробы	$J_{\text{общ}}^*$ ммоль/дм ³	X, мгО ₂ /л Н ₂ О	pH	$C_{\text{NO}_3^-}$ мг/дм ³	$C_{\text{Pb}^{2+}}$ мг/дм ³	$C_{\text{Cu}^{2+}}$ мг/дм ³
	ПДК	7 ммоль/дм ³	5 мгО ₂ /л Н ₂ О	6-9	45 мг/л	0,03 мг/л	1,0 мг/л
42.	Пехотинцев, 6	3,00	9,12	6,6	3,41	0,20	-
43.	Стачек, 59	2,72	3,28	7,25	5,27	-	-
44.	Латвийская, 3	3,88	1,44	7,16	4,03	-	-
45.	Уральская, 61а	2,92	3,44	7,26	4,96	-	-
46.	Щербакова, 37	2,72	2,87	7,41	0,65	-	-
47.	П. Тольятти, 13а	3,16	3,28	7,25	3,01	-	-
48.	Решетникова, 3	2,76	3,18	7,60	4,03	-	-
49.	Мира, 19	2,64	3,28	7,17	4,03	-	-
50.	Техническая, 44	2,24	4,80	6,02	1,55	1,20	0,64
51.	Мира, 3	2,58	4,72	6,43	2,48	0,20	-
52.	Шаманова, 22	3,08	3,78	7,55	9,21	0,04	0,45

- «-» – показатель не определен;
- жирным шрифтом выделены значения, превышающие нормативные значения;
- сведения о материале труб отсутствуют.

Источник: составлено авторами на основании результатов исследования.

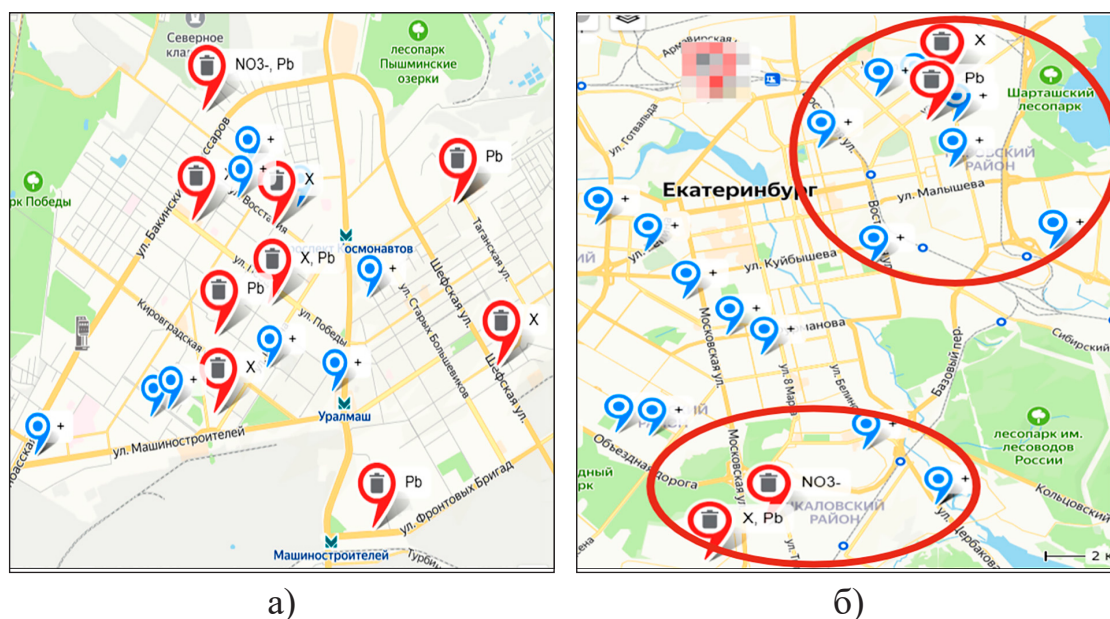


Рис. 1. Пункты отбора проб водопроводной воды: а) в Орджоникидзевском районе; б) в Ленинском, Кировском, Чкаловском и Верх-Исетском районах (красными линиями обведены Чкаловский и Кировский районы с загрязненной водой). Пункты отбора проб воды неудовлетворительного качества по одному или нескольким показателям отмечены красными метками

Источник: составлено авторами на основании результатов исследования

Превышение содержания нитратов обнаружено в двух пробах, отобранных в Чкаловском и Орджоникидзевском районах. Известно, что как в поверхностных, так и в грунтовых водах Свердловской области нитраты

среди загрязнителей занимают ведущие позиции [5]. Характерной особенностью нитратов является их способность трансформироваться в организме человека в нитрозамины – канцерогенные соединения [6–8].

Один из пунктов отбора загрязненных нитратами проб находится в Орджоникидзевском районе, неподалеку от СНТ «Садовод»; второй пункт располагается в Чкаловском районе, между городскими парками завода РТИ, Камвольного комбината и Юго-Западным. Основная причина загрязнения воды нитратами – избыточное использование азотных удобрений. Проблемы с устаревшими водопроводными трубами, подверженными коррозии и, следовательно, частым авариям, способствуют попаданию нитратов в систему централизованного водоснабжения. При этом, согласно данным таблицы 1, свинец является самым распространенным загрязнителем, превышающим допустимые нормы в большинстве проб (13 случаев).

Свинцом загрязнены пять проб из Орджоникидзевского района, три – из Академического, три – из Железнодорожного и по одной из Чкаловского и Кировского районов. На рисунке 1 представлены пункты отбора проб с соответствующей оценкой качества воды в Орджоникидзевском районе (1а), Ленинском, Чкаловском и Кировском, Верх-Исетском районах (1б). Таким образом, свинец можно отнести к числу приоритетных загрязнителей в исследуемых пробах воды.

Основная причина появления свинца в питьевой воде – это разрушение старых водопроводных труб из-за коррозии. Однако возможно и непосредственное попадание соединений свинца в водопроводную сеть из окружающей среды в результате частых аварийных разрывов трубопровода [4; 9]. К основным источникам свинца относят отходы машиностроительных и металлургических предприятий, большая часть которых расположена в Орджоникидзевском районе. Кроме того, свинец в окружающую среду поступает с выхлопными газами автотранспорта и из отработанных автомобильных аккумуляторов.

Результаты, представленные в таблице 1, свидетельствуют о многократном (от 6 до 200 раз) превышении ПДК свинца в пробах воды из Орджоникидзевского района. Все пункты отбора проб в этом районе представляют собой здания старой (40–50 лет) жилой застройки, домовые водопроводные трубы в которых требуют срочной замены. На высокую степень коррозионного повреждения труб указывают постоянные аварии водопровода в этом районе, сопровождающиеся выходом воды на поверхность и затоплением улиц и придомовых территорий.

Проблеме загрязнения воды из разных источников свинцом и последствий его не-

гативного влияния на организм человека посвящено немало работ [6; 10; 11]. Свинец, как и многие тяжелые металлы, взаимодействует с содержащимися в организме человека серосодержащими аминокислотами (цистеином, глутатионом, метионином и др.) с образованием труднорастворимых соединений. Дефицит указанных аминокислот, выполняющих функцию антиоксидантов в организме, неизбежно ведет к повышению концентрации свободных радикалов с последующим повреждением клеточных мембран и возникновением различных патологий [12]. Для свинца свойственно явление биоаккумуляции, что существенно усиливает его токсикологический эффект. Следовательно, при регулярном употреблении воды, содержащей десятки и даже сотни ПДК свинца, пропорционально возрастают и масштабы отрицательных последствий воздействия на организм человека.

Свинец, помимо разрушения антиоксидантов, обладает еще и канцерогенными свойствами [13; 14]. В этой связи были рассчитаны уровни индивидуального канцерогенного риска потребителей воды в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения»¹:

$$CR = I \cdot SF, \quad (1)$$

где I – среднесуточная доза при пероральном поступлении загрязнителя в организм человека с питьевой водой; SF – фактор канцерогенности.

$$I = \frac{C_w \cdot V \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365}, \quad (2)$$

где C_w – концентрация загрязнителя в воде; V – объем потребляемой воды в сутки; EF – частота воздействия; продолжительность воздействия; BW – средняя масса тела; AT – средний период экспозиции. Расчеты приведены с учетом потребления воды взрослым человеком со средней массой тела 70 кг.

Приемлемость риска (CR) оценивали по критериям, приведенным в [15]:

1) $CR \leq 1 \cdot 10^{-6}$ – риск соответствует одному случаю заболевания или смерти на миллион экспонированных лиц и считается пренебрежимо малым;

2) $1 \cdot 10^{-6} \leq CR \leq 1 \cdot 10^{-4}$ – имеет место предельно допустимый риск, требующий регулярного контроля качества объектов окружающей среды;

¹ Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.

3) $1 \cdot 10^{-4} < CR \leq 1 \cdot 10^{-3}$ – риск становится недопустимым или неприемлемым; при этом требуется проведение мероприятий по улучшению экологической ситуации;

4) $CR > 1 \cdot 10^{-3}$ – необходимы экстренные меры по оздоровлению окружающей среды с целью снижения риска.

Как следует из таблицы 2, максимальные (недопустимые) канцерогенные риски соответствуют наиболее загрязненным пробам питьевой воды из Орджоникидзевского района ($CR > 1 \cdot 10^{-3}$). Канцерогенные риски, рассчитанные для других проб, можно оценить как предельно допустимые. Для детей, с учетом их меньшей средней массы тела и меньшим времени экспозиции, среднесуточная доза свинца при пероральном поступлении существенно возрастает, следовательно, значения канцерогенного риска будут значительно выше.

Вызывает вопрос низкий уровень качества питьевой воды в Академическом районе, строительство которого началось в 2006 году и продолжается до сих пор. Здания, сооружения, инфраструктура, все коммуникации, а значит, и водопроводные сети здесь сооружены недавно. Тем не менее все пробы воды, отобранные в Академическом, содержат свинец от 1,3 до 2 ПДК. Для сравнения: в пробах воды, отобранных в Ленинском и Верх-Исетском районах, измеренные

показатели качества находятся в пределах, допустимых санитарно-гигиеническими нормативами (рис. 16). Полученные данные свидетельствуют о критической экологической ситуации с питьевой водой в Орджоникидзевском районе, что обусловлено значительным превышением норм по окисляемости, нитратам и свинцу (рис. 2).

С целью визуализации результатов проведенных исследований была разработана интерактивная информационная карта качества питьевой воды в городе Екатеринбурге.

Данные, приведенные на рисунке 3, представляющем карту экологического благополучия города по результатам анализа водопроводной воды, свидетельствуют о несоответствии нормативам качества более 30% исследуемых проб по одному или двум из определяемых показателей. Вторичное загрязнение воды может быть вызвано различными факторами: коррозионные процессы в трубопроводах, попадание экотоксикантов через уплотнения, колебание давления и перераспределение потоков воды в водопроводной сети, существование тупиковых участков водопровода и др. [16]. В дополнение к указанным причинам поступления загрязнителей в водопроводную сеть следует отметить и периодические сбои в работе устаревших технических систем водоподготовки.

Таблица 2

Уровни индивидуального канцерогенного риска здоровью потребителей от питьевой воды, загрязненной свинцом

№ п/п	Пункты отбора проб	C_w , мг/л	I, мг/кг-день	CR
1.	Рутминского, 2	0,06	$1,64 \cdot 10^{-3}$	$7,72 \cdot 10^{-5}$
2.	Краснолесья, 93	0,05	$1,37 \cdot 10^{-3}$	$6,44 \cdot 10^{-5}$
3.	Шаманова, 22	0,04	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$6,15 \cdot 10^{-6}$
4.	Стахановская, 32	0,2	$5,48 \cdot 10^{-3}$	$2,58 \cdot 10^{-4}$
5.	Народного Фронта, 72	2,07	$5,67 \cdot 10^{-2}$	$2,67 \cdot 10^{-3}$ (недопустим)
6.	Индустрии, 24	6,21	$1,70 \cdot 10^{-1}$	$7,80 \cdot 10^{-3}$ (недопустим)
7.	Таганская, 57	1,68	$4,60 \cdot 10^{-2}$	$2,16 \cdot 10^{-3}$ (недопустим)
8.	Фронтных Бригад, 7	1,05	$2,88 \cdot 10^{-2}$	$1,35 \cdot 10^{-3}$ (недопустим)
9.	Техническая, 44	1,2	$3,29 \cdot 10^{-2}$	$1,55 \cdot 10^{-3}$ (недопустим)
10.	Маневровая, 25	0,8	$2,20 \cdot 10^{-2}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$ (недопустим)
11.	Пехотинцев, 6	0,2	$5,48 \cdot 10^{-3}$	$2,58 \cdot 10^{-4}$
12.	Мира, 3	0,2	$5,48 \cdot 10^{-3}$	$2,58 \cdot 10^{-4}$
13.	Дорожная, 18	0,1	$2,74 \cdot 10^{-3}$	$1,28 \cdot 10^{-4}$

Источник: составлено авторами на основании результатов исследования.

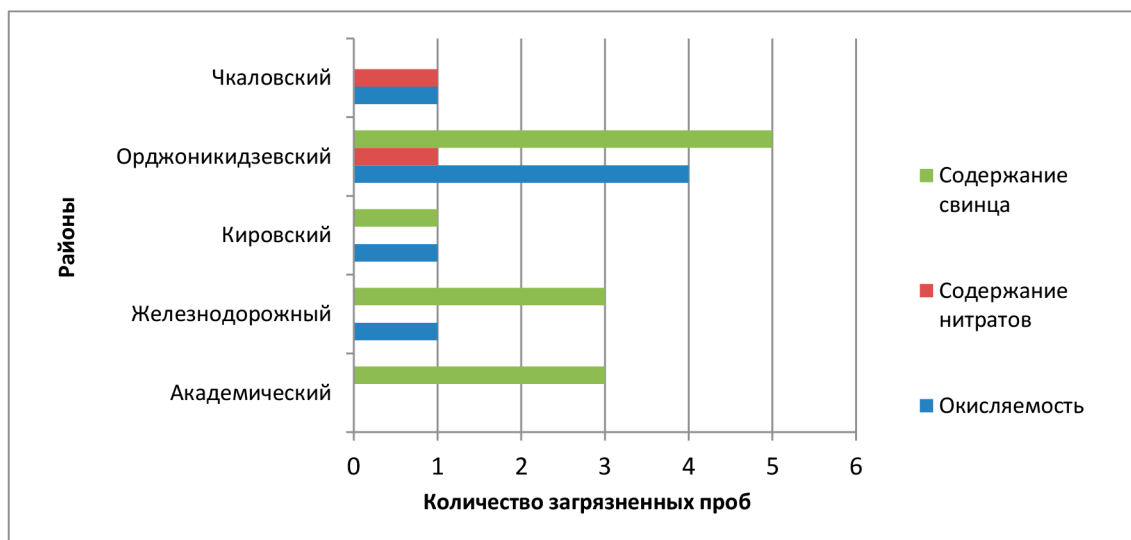


Рис. 2. Количество загрязненных проб водопроводной воды по районам города
 Источник: составлено авторами на основании результатов исследования

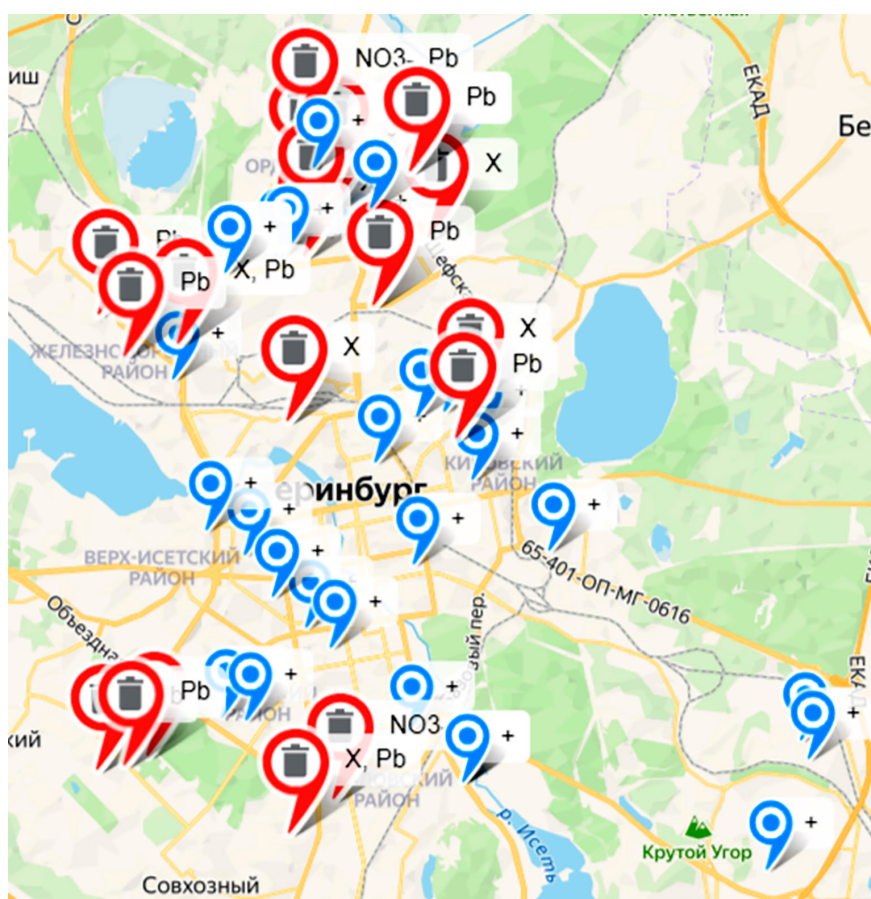


Рис. 3. Результаты анализа исследуемых проб водопроводной воды
 Примечание: пункты отбора проб воды неудовлетворительного качества по одному или нескольким показателям отмечены красными метками
 Составлено по: URL: <https://водоканалекб.рф/media-center/novosti/speczialisty-vodokanala-prezentovali-interaktivnuyu-kartu-perekladki-setej-po-rajonam-ekaterinburga/>

Одним из путей решения проблемы вторичного загрязнения водопроводной воды является замена изношенных участков водопроводных сетей. В МУП «Водоканал» разработан и с 2024 года реализуется план ремонта и замены водопроводных труб. На интерактивной карте, составленной сотрудниками «Водоканала», отмечены наиболее аварийные участки трубопровода, подлежащие ремонту. В большинстве случаев на отмеченных участках отобранные для анализа пробы воды не соответствуют стандартам качества.

Выводы

Таким образом, анализ питьевой воды из системы централизованного водоснабжения Екатеринбурга выявил ряд проблем. В частности, в нескольких районах зафиксировано превышение нормативных показателей по окисляемости (в Орджоникидзевском, Чкаловском, Железнодорожном, Кировском районах), содержанию свинца (Орджоникидзевском, Кировском, Чкаловском, Железнодорожном, Академическом районах) и нитратов (загрязнение в Чкаловском и Орджоникидзевском районах), что свидетельствует о неудовлетворительном качестве воды. Обнаружено, что доля загрязненных проб составила 34%.

К основным причинам неудовлетворительного качества питьевой воды относятся высокая степень изношенности трубопровода, вызывающей его коррозию и частые аварийные разрывы, колебание давления и перераспределение потоков воды в водопроводной сети. Решение указанной экологической проблемы, заключающейся в ремонте и замене водопроводных труб, реализуется МУП «Водоканал» в Екатеринбурге.

Список литературы

1. Соколов Ю.И. Риски самого ценного ресурса планеты // Проблемы анализа риска. 2020. № 1. С. 10–23. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/riski-samogo-tsennogo-resursa-planety/viewer> (дата обращения: 05.06.2025). DOI: 10.32686/1812-5220-2020-17-1-10-23.
2. Коньшина Л.Г. Оценка качества воды источников нецентрализованного водоснабжения Екатеринбурга и его окрестностей // Гигиена и санитария. 2016. №95 (5). С. 413–416. DOI:10.17513/mjrfi.13604.
3. Прожорина Т.И., Куролап С.А., Преснякова Ю.А. Геоэкологическая оценка качества источников хозяйственно-питьевого водоснабжения урбанизированных и сельских территорий Воронежской области // Вестник Удмуртского университета. 2020. Т. 30. № 1. С. 53–63. DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-53-63.
4. Прожорина Т.И., Куролап С.А., Гребенникова О.А. Геоэкологическая оценка состояния централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения малых городов Воронежской области // Вестник Удмуртского университета. 2019. Т. 29. № 2. С. 213–220. DOI: 10.35634/2412-9518-2019-29-2-213-220.

5. Информационный бюллетень о состоянии недр Уральского федерального округа Российской Федерации за 2017 год. 2018. 18 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.geomonitoring.ru/download/IB/2017_ufo.pdf (дата обращения: 05.06.2025).
6. Коньшина Л.Г., Лежнин В.Л. Оценка качества питьевой воды и риска для здоровья населения // Гигиена и санитария. 2014. № 3. С. 5–10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-pitievoy-vody-i-riska-dlya-zdorovya-naseleniya/viewer> (дата обращения: 05.06.2025).
7. Харина Г.В., Алешина Л.В. Анализ качества подземных вод Свердловской области // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 3. С. 221–228. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-3-221-228.
8. Кикун П.Ф., Кислицына Л.В., Богданова В.Д., Сабирова К.М. Гигиеническая оценка качества питьевой воды и риски для здоровья населения Приморского края // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 1. С. 94–101. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-94-101.
9. Росоловский А.П. Состояние источников центрального водоснабжения и влияние качества питьевой воды на здоровье населения Новгородской области // Здоровье населения и среда обитания. 2016. Т. 274. № 1. С. 8–10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-istochnikov-tsentralnogo-vodosnabzheniya-i-vliyaniye-kachestva-pitievoy-vody-na-zdorovie-naseleniya-novgorodskoy-oblasti> (дата обращения: 05.06.2025).
10. H. Al-Aizari, A. Achachoua, M. Fadlib, F. Al-Kadsec. Analytical Groundwater Contamination by Heavy Metal // Applied Journal of Environmental Engineering Science. 2018. No. 3. P. 299–308. URL: <https://revues.imist.ma/index.php/AJEEES/article/view/11254> (дата обращения: 02.06.2025).
11. Aparna Borawake, V. B. Gaikwad, Sucheta Patil, Kamra Anjana. Evaluation of Heavy Metal Contamination in Ground Water of Ambad Industrial Area of Nashik, Maharashtra, India // International Journal of Science and Research (IJSR). 2015. Vol. 4. No. 7. P. 1826–1831. DOI: 10.21275/SUB2156804.
12. Галимова А.Р., Тунакова Ю.А. Поступление, содержание и воздействие высоких концентраций металлов в питьевой воде на организм // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 2. С. 165–169. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-otsenki-vozdeystviya-potrebyaemyh-pitievoyh-vod-na-zdorovie-detskogo-naseleniya-i-obosnovanie-sposobov-povysheniya-ih-kachestva> (дата обращения: 05.06.2025).
13. Коньшина Л.Г. Оценка риска здоровью детей, обусловленного химическим составом питьевой воды источников нецентрализованного водоснабжения Екатеринбурга // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 9. С. 997–1003. DOI: 10.47470/0016-9900-2019-98-9-997-1003.
14. Сазонова О.В., Сергеев А.К., Чупахина Л.В., Рязанова Т.К., Судакова Т.В. Анализ риска здоровью населения, обусловленного загрязнением питьевой воды (опыт Самарской области) // Анализ риска здоровью. 2021. № 2. С. 41–51. DOI: 10.21668/health.risk/2021.2.04.
15. Ширяева И.А., Попова Е.В. Тяжелые металлы в питьевых водах различных природных геохимических провинций Пермского края как факторы канцерогенного риска для здоровья населения // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2014. № 4. С. 89–96. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tyazhelye-metally-v-pitievoyh-vodah-razlichnyh-prirodnyh-geohimicheskikh-provintsiy-permskogo-kрая-kak-factory-kantserogennogo-riska> (дата обращения: 05.06.2025).
16. Шеренков И.А., Осыка Н.В., Багмут Л.Л. Анализ проблем эксплуатации систем питьевого водоснабжения из подземных источников // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. 2009. Т. 11. № 1. С. 350–352. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-problem-ekspluatatsii-sistem-pitievogo-vodosnabzheniya-iz-podzemnyh-istochnikov> (дата обращения: 03.06.2025).

УДК 551.736.3

DOI 10.17513/use.38420

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПАЧКИ ЛИНГУЛОВЫХ ГЛИН НА ЮГО-ВОСТОКЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН ПО ДАННЫМ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАРБОНАТНОСТИ

Фахрутдинов Э.И., Нургалиева Н.Г.

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань,
e-mail: MKS-1989eduard@yandex.ru

Настоящая работа посвящена изучению реперной пачки лингуловых глин с обилием остатков *Lingula orientalis* Gol. в составе байтуганского горизонта и распространенной в Закамье Республики Татарстан. Цель исследования – реконструкция строения и условий осадконакопления пачки лингуловых глин на выбранной территории на основе данных гранулометрического состава и карбонатности пород. Образцы отобраны с учетом литологической неоднородности разреза. Для оценки указанной неоднородности разреза использовался литомодуль. Для определения карбонатности использовались данные по содержаниям CaO в отобранных образцах, измеренным методом рентгено-флуоресцентного анализа с использованием спектрометра Bruker. Анализ гранулометрического состава производился с использованием анализатора размера частиц Bluewave. Представлены результаты измерения и интерпретации гранулометрического состава и карбонатности пород 13-метровой толщи указанной пачки, обнажающейся в междуречье р. Лесная Шешма и Инэш на юго-востоке Республики Татарстан. Установлено, что изучаемая пачка лингуловых глин сложена двумя десятками слоев, большая часть которых представлена глинами известково-алевритовыми, алевритами известково-глинистыми и мергелями алевритовыми и глинисто-алевритовыми. Анализ гранулометрического состава и содержания карбонатов показал значительное преобладание пелитовой и алевритовой фракций, а также существенную карбонатность пород, что характерно для типов разрезов, распространенных в Закамье Республики Татарстан. Гистограммы распределения гранулометрических фракций имеют бимодальный характер, что свидетельствует о неоднородности состава изучаемых отложений, обусловленной значительными содержаниями мелкоалевритовой и среднепелитовой фракций. Карбонатность изменяется значительно: максимальное значение почти в три раза превышает минимальное значение. Установлено, что вариации значений параметров гранулометрического состава (содержания фракций, модальные характеристики) и карбонатности отражают особенности пачки лингуловых глин согласно литолого-фацальной модели Н.Н. Форша. Изучаемая пачка соответствует осадочному циклу пятого порядка, а скорость осадконакопления оценивается значением ~0,6 мм/год.

Ключевые слова: нижнеказанский подъярус, пачка лингуловых глин, гранулометрический состав, карбонатность, модель Н.Н. Форша

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания, проект № FZSM-2023-0023 в сфере научной деятельности.

LITHOFACIES FEATURES OF LINGULA CLAY PACKAGE IN THE SOUTHEAST OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN BASED ON GRANULOMETRIC COMPOSITION AND CARBONATE CONTENT

Fakhrutdinov E.I., Nurgalieva N.G.

Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, e-mail: MKS-1989eduard@yandex.ru

The present work is dedicated to the study marker package of a Lingula clay with an abundance of remains of *Lingula orientalis* Gol. in the Baitugan horizon, widespread in the Kama region of the Republic of Tatarstan. The purpose of the study was the reconstruction of the structure and conditions of sedimentation of a package of Lingula clay in the selected territory based on data from the granulometric composition and carbonate content of the rocks. The samples are selected based on the lithological heterogeneity of the section. A lithomodule was used to assess the aforementioned heterogeneity. Carbonate content was determined using data on CaO concentrations in selected samples, measured by X-ray fluorescence analysis using a Bruker spectrometer. Granulometric analysis was performed using a Bluewave particle size analyzer. The results of the measurement and interpretation of the granulometric composition and carbonate content of rocks in a thirteen-meter thickness section of the specified package, exposed in the interfluvium of the Lesnaya Sheshma and Inesh rivers in the southeast of the Republic of Tatarstan, are presented. It was established that the studied Lingula clay package consists of couple dozen layers; most of them are represented by calcareous-silty clays, calcareous-clayey siltstones, and silty-clayey and clayey-silt marls. Analysis of the granulometric composition and carbonates revealed a significant predominance of pelitic and silt fractions, as well as a substantial carbonate content of the rocks, which is characteristic of the section types widespread in the Kama region of the Republic of Tatarstan. The histograms of the granulometric fraction distribution have a bimodal character, indicating the heterogeneity of the composition of the studied sediments, due to significant contents of of fine-silt and medium-pelitic fractions. Carbonate content varies significantly: the maximum value is almost three times the minimum value. It was established that variations in the values of granulometric composition parameters (fraction content, modal characteristics) and carbonate content reflect the features of the Lingula clay package according to the lithological-facies model by N.N. Forsch. The studied package corresponds to a fifth-order sedimentary cycle, and the rate of sedimentation is estimated at ~0.6 mm/year.

Keywords: Lower-Kazanian substage, lingual clay package, granulometric composition, carbonate component, model by N.N. Forsch

The work was carried out using funds from a subsidy allocated to Kazan Federal University to fulfill a state assignment, project No. FZSM-2023-0023 in the field of scientific activity.

Введение

В разрезе среднепермских отложений на территории Республики Татарстан широко распространены так называемые «лингуловые глины», относящиеся к байтуганскому горизонту нижнеказанского подъяруса.

Актуальность изучения пачки лингуловых глин связана с тем, что она имеет региональное распространение и является специфическим маркером истории осадконакопления в казанское время на значительной части территории востока Русской плиты. Пачка лингуловых глин имеет большое значение в строении природных резервуаров углеводородов, выступая надежной покрывкой для залежей сверхвязких нефтей, находящихся в песчаных отложениях нижележащего шешминского горизонта уфимского яруса.

Первые упоминания о нахождении беззамковых брахиопод *Lingula Orientalis* Gol. в пермских отложениях находятся в работе Николая Алексеевича Головкинского в 1868 г. [1].

А.М. Зайцев в 1878 г. при изучении обнажений правобережья р. Камы от села Усолъе до г. Елабуги описал в разрезе светло-серые мергели и глины с остатками *Lingula orientalis* Gol. [1].

Значимые результаты по лингуловым глинам содержатся в отчетах Ф.Н. Чернышева в 1888 г., где он изучал левый берег верховья р. Ик. В его работе подчеркнуто, что беззамковые брахиоподы *Lingula orientalis* Gol. являются «особенной характерной формой, покрывающей нередко сплошь поверхности наслоения песчанистого мергеля, который вполне заслуживает название «лингулового мергеля». Горизонт серого мергеля с остатками *Lingula orientalis* Gol. четко выявляется во многих разрезах и выступает опорным горизонтом при сравнении и корреляции пермских отложений Прикамья [1].

В 1915 г. А.В. Нечаев сделал вывод о двухчленном строении казанского яруса, выделив нижний спириферовый и верхний конхиферовый подъярусы [1].

Спириферовые и конхиферовые слои как стратиграфические подразделения, соответствующие подъярусам, изучались в работах А.В. Нечаева.

В 1934 г. Г.В. Распопов разделил спириферовый подъярус (среднее течение р. Ик) на две пачки: нижнюю (серые песчаники с *Lingula orientalis* и растительными остатками) и верхнюю (известняки с прослоями

глин, мергелей и горючих сланцев и углей). Отмечаются значительные литологические и фаунистические изменения с запада на восток.

В 1936 г. А.В. Миртова предложила схему нижнеказанских отложений в районе Сокольников, выделив четыре серии: серые глины с *Lingula orientalis* Gol.; плитчатые известняки; переслаивание глин, мергелей и песчаников; оолитовые/песчаные известняки и известковые песчаники с *Pseudomonotis garfortensis* King.

Исследования по уточнению строения лингуловых глин по берегам Камы и Вятки были также проведены в работах А.П. Блудорова в 1938 г. и в работах Г.П. Игнатовича в 1939 г. [1].

Выдающееся значение имеют труды Н.Н. Форша по систематическому изучению казанских отложений с построением палеогеографических карт байтуганского, камышлинского и барбашинского времени для востока Русской плиты, представленных в [2]. На этих картах лингуловые глины, сложенные глинистыми разностями с лингулами, двустворчатыми моллюсками и замковыми брахиоподами, относятся к зонам мелководного морского шельфа, лагун и низменностей, и их накопление шло в условиях семиаридного и семигумидного климата (рис. 1, А).

Детальное исследование петрографии и гранулометрии лингуловых глин в камских и икских разрезах (рис. 1, Б, разрезы обозначены черными треугольниками) известно из работы А.С. Ильясовой [3, с. 45–166]. В этой работе были выделены основные петротипы пород лингуловой толщи. Лингуловые глины сложены глинистыми, алевролитовыми, известково-глинистыми и мергелистыми разностями. Территориально только глины представлены в обнажениях по правобережью р. Камы. В остальных разрезах глины перемежаются с другими петротипами (например, по р. Ик – Абсалямово, Муслюмово). Макроскопически глины – плотные породы серого цвета, тонко горизонтально слоистые. На плоскостях напластований наблюдаются скопления листочков слюд, раковин лингул, растительные остатки. Глины из обнажений сильно выветрелые, с выделениями гидроокисей железа, в отличие от глин керна скважин, в которых отмечается обилие вкраплений пирита. Глины всегда в той или иной степени известковистые. По содержанию алевролитового и карбонатного материала выделяются три типа глин: 1) Глины алевроитовые с содержанием

кластики 11–38%; 2) Глины известковистые с содержанием карбонатного материала 9–20%; 3) Глины промежуточного типа: известково-алевроитовые (алевроитовый материал преобладает над известковистым) и алевроито-известковистые (карбонатный материал преобладает над алевроитовым).

В работе Н.Г. Нурғалиевой и др. [4] представлена первая карта изопакит лингуловых глин на территории востока Республики Татарстан (рис. 1, Б). Карта построена на основе данных интерпретации диаграмм гамма-каротажа по многочисленному фонду скважин структурного бурения (на карте они показаны точками, рис. 1, Б). Толщины изучаемой пачки увеличиваются в юго-западном и южном направлениях, что указывает на возможный снос обломочного материала с северо-восточных и северных возвышенных участков.

Обобщение данных по лингуловым глинам по [3, с. 105–146; 4] позволило установить, что распространенностью пользуются глины известковистые и промежуточного типа, а также мергели и алевролиты.

Различаются по крайней мере два типа разреза байтуганских слоев с разным строением лингуловых глин: красногорский и приказанский [3, с. 105–146; 4]. В Закамье Татарстана распространены разрезы, близкие по строению к приказанскому типу. В пачке лингуловых глин здесь наряду с преобладающим петротипом глин заметное значение приобретают мергели, мергели алевроитовые и мергели алевроито-глинистые, а также алевролиты и известняки в виде тонких слоев.

Лингуловые глины соответствуют трансгрессивному седиментационному комплексу [4; 5].

Несмотря на значительный объем исследований лингуловых глин, изученность литофациальных особенностей пачки остается недостаточно полной, особенно в разрезах Закамья Республики Татарстан, что снижает информативность реконструкции условий осадконакопления и затрудняет создание надежных моделей в минерагенических целях. Таким образом, существует необходимость в более детальном изучении в указанном регионе литологии лингуловых глин, в первую очередь их гранулометрического состава и карбонатности.

В настоящей статье впервые предлагается рассмотрение строения и генетических особенностей разреза лингуловых глин, находящегося в междуречье р. Лесная Шешма и Инэш, где отмечается участок с толщиной лингуловой пачки 10–15 м (рис. 1, Б).

Цель исследования – реконструкция условий осадконакопления в начале раннеказанского времени на выбранной территории на основе данных гранулометрического состава и карбонатности пород.

Характеристика объекта

Объектом исследования в данной статье являются отложения пачки лингуловых глин обнажения А1 (географические координаты: 54°31' с.ш., 52°12'10" в.д.) в междуречье р. Лесная Шешма и Инэш, в районе с. Каркали, в 19 км от г. Лениногорска на юго-востоке Республики Татарстан.

Пачка лингуловых глин входит в состав сводного разреза нижеказанских отложений, составленного на основе изучения восьми искусственных и естественных обнажений (А1–А8) (рис. 2). Описание сводного разреза приведено в работах [6; 7]. В указанных работах пачка лингуловых глин обозначена как пачка № 6. Общая толщина пачки составляет 13 м.

На основе полевого описания и литологических данных в пачке № 6 выделяется 20 слоев снизу вверх.

Слой 6–1: Переслаивание глины, алевролита и мергеля. Глина серая слоистая, отмечается в нижней и верхней частях слоя (общая толщина 1 м), с остатками сетчатых мшанок *Trepotomida*, брахиопод *Beecheria netschaei* Grunt, *Licharewia rugulata* (Kutorga), конодонтов *Kamagnathus khalimbadzhae* Chern., и двустворок *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin., *Netschajewia sp.* Алевролит серый известково-глинистый, с толщиной 1,36 м, в средней части слоя; мергель светло-серый глинисто-алевроитовый, с толщиной 0,4 м, в средней части слоя. Общая толщина слоя – 2,76 м.

Слой 6–2: Мергель светло-серый плотный алевроитовый слоистый, с плитчатой отдельностью. Толщина – 0,05 м.

Слой 6–3: Глина серая, с субгоризонтальной слоистостью, с остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Общая толщина – 0,15 м.

Слой 6–4: Алевролит светло-серый известково-глинистый горизонтально слоистый, с остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина – 1,1 м.

Слой 6–5: Алевролит зеленовато-серый известково-глинистый, с остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина – 0,65 м.

Слой 6–6: Известняк серый пелитоморфный, участками конкреционный, с остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина – 0,15 м.

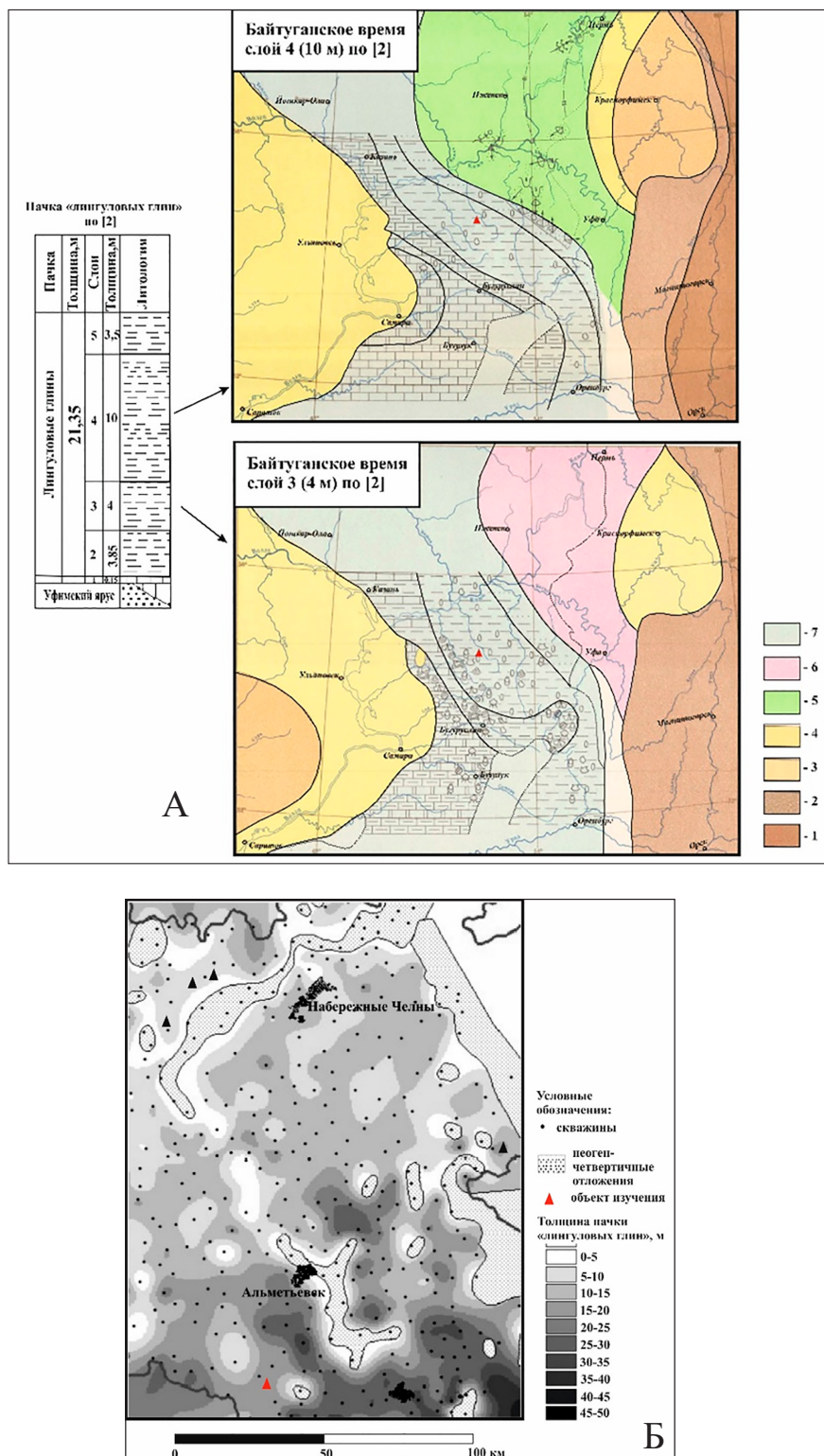


Рис. 1. Лингуловые глины. А – литолого-палеогеографические карты по Н.Н. Форицу: 1 – высокогорная суша, область размыва; 2 – низко- и среднегорная суша, в основном область размыва; 3 – равнина возвышенная, плато; 4 – предгорная низменность с болотами, озерами, речными долинами, пресноводными лагунами; 5 – опресненные бассейны (лагуны) с эпизодическими морскими ингрессиями; 6 – море внутреннее, залив, озеро с пониженной соленостью; 7 – море, мелкая часть шельфа, прибрежная зона. Б – карта изопакхит пачки «лингуловых глин». Красным треугольником отмечен изучаемый разрез. Черными треугольниками отмечены ранее изученные разрезы
Источник: составлено авторами на основе [2; 3, с. 115; 4]

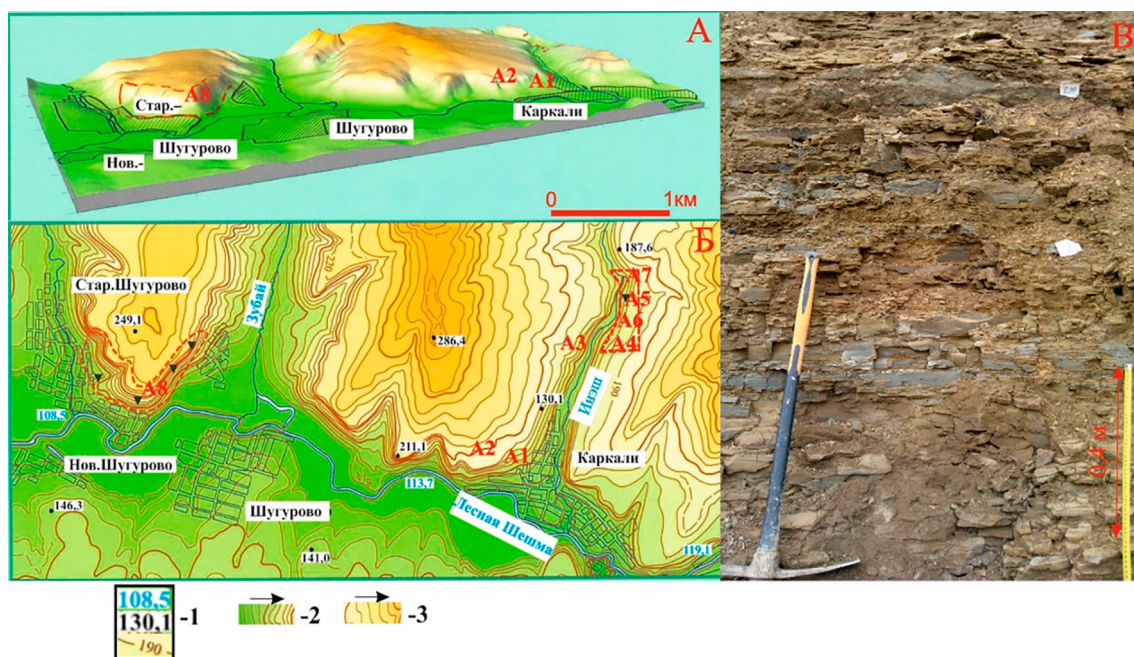


Рис. 2. Объект исследования (обозначения A1–A8 соответствуют точкам обнажений: А – трехмерная физико-географическая модель района исследований. Б – топографическая карта. Условные обозначения: 1 – абсолютные отметки, 2 – абсолютные отметки 120–200 м, 3 – абсолютные отметки >200 м. В – обнажение A1 пачка № 6 «Лингуловые глины»
Источник: составлено авторами на основе [6; 7]

Слой 6–7: Переслаивание глин и алевролитов. Глина серо-зеленая алевролитистая с толщиной 1,6 м; алевролит известково-глинистый с толщиной 0,6 м, с сетчатыми и ветвистыми мшанками *Trepotomida*, двустворками *Nuculana kasanensis* (Vern.), *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin., *Schizodus rossicus* Vern. и остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина 2,2 м.

Слой 6–8: Известняк серый пелитоморфный, участками конкреционный, с остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. *Licharewia rugulata* (Kutorga). Толщина – 0,06 м.

Слой 6–9: Глина серая, алевролитовая, известковая с остатками брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина 0,94 м.

Слой 6–10: Мергель светло-серый алевролитовый слоистый. Толщина – 0,3 м.

Слой 6–11: Глина светло-серая известково-алевритовая с остатками двустворок *Nuculana kasanensis* (Vern.), *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin. и брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина 0,2 м.

Слой 6–12: Глина серо-зеленая с остатками сетчатых и ветвистых мшанок *Trepotomida*, двустворок *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin. и брахиоподами *Licharewia rugulata* (Kutorga). Общая толщина – 0,3 м.

Слой 6–13: Мергель светло-серый плотный глинисто-алевритовый. Толщина – 0,2 м.

Слой 6–14: Известняк серый пелитоморфный, участками конкреционный. Толщина – 0,05 м.

Слой 6–15: Глина светло-серая известково-алевритовая с остатками морских остракод *Healdia postcornuta* Schn., *Bairdia sobolevensis* Khivintseva, *B. ex gr. Porrecta Gusseva*, *B. kandyzensis* Khivintseva, *B. cf. cultrataeformis* Gusseva, *Lobobairdia rostriformis* Chen, *Healdianella vulgata* Kotschetkova, *Healdia subtriangula* Kotschetkova, *Acratia semilunulata* (Netschaev), *Cavellina unica* Kotschetkova и брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина – 0,95 м.

Слой 6–16: Известняк серый пелитоморфный, участками конкреционный. Толщина – 0,05 м.

Слой 6–17: Глина светло-серая известково-алевритовая с остатками двустворок *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin, остракод *Healdia postcornuta* Schn. *Bairdia sobolevensis* Khivintseva, *Healdia subtriangula* Kotschetkova и брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина – 0,95 м.

Слой 6–18: Известняк светло-серый пелитоморфный, участками конкреционный. Толщина – 0,05 м.

Слой 6–19: Мергель светло-серый алевролитовый с остатками двустворок *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin., *отпечаток* *Healdia postcornuta* Schn. Толщина – 0,66 м.

Слой 6–20: Глина светло-серая, зеленоватая, известково-алевритовая, с остатками двустворок *Nuculana kasanensis* (Vern.), *Pseudobakewellia ceratophagaeformis* Noin и брахиопод *Lingula orientalis* Gol. Толщина – 1,23 м.

Цель исследования – реконструкция строения и условий осадконакопления пачки лингуловых глин на выбранной территории на основе данных гранулометрического состава и карбонатности пород.

Материалы и методы исследования

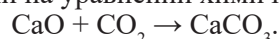
Для исследования гранулометрического состава и карбонатности было отобрано 15 образцов со средним шагом ~0,8 м с учетом литологической неоднородности разреза. Для оценки указанной неоднородности разреза использовался литомодуль. Расчет значений литомодуля производился по правилам определения средневзвешенного значения ранга с учетом ранга петротипа и толщины слоя, сложенного данным петротипом, согласно работе Ю.В. Семеновского в 1973 г. Петрографические типы ранжировались как 2 (алевролит), 3 (глина), 4 (мергель), 5 (известняк) согласно закону фаций Н.А. Головкинского [1].

Гранулометрический анализ и определение карбонатности проведены для образцов из слоев 6–1 (обр. 23, уровень отбора (у.о.) от подошвы казанского яруса – 1,45 м; обр. 24, у.о. – 1,66 м; обр. 25, у.о. – 1,96 м; обр. 26, у.о. – 2,46 м); 6–4 (обр. 29, у.о. – 3,46 м); 6–5 (обр. 30, у.о. – 4,46 м); 6–7 (обр. 33, у.о. – 6,46 м); 6–9 (обр. 35, у.о. – 7,96 м; обр. 36, у.о. – 8,46 м); 6–11 (обр. 37, у.о. – 8,96 м); 6–13 (обр. 38, у.о. – 9,46 м); 6–15 (обр. 39, у.о. – 10,46 м); 6–17 (обр. 40, у.о. – 11,46 м); 6–19 (обр. 41, у.о. – 12,17 м); 6–20 (обр. 43, у.о. – 13,4 м) со значениями литомодуля от 2 до 4.

Для определения карбонатности использовались данные по содержаниям СаО в отобранных образцах, измеренным в лаборатории геохимии, изотопного и элементного анализа КФУ методом рентгено-флуоресцентного анализа (спектрометр Bruker S8 Tiger) в [7; 8]. Данный подход не учитывает содержание доломита и других карбонатов. Однако установлено, что содержание карбоната кальция значительно превалирует над содержанием доломита в исследуе-

мом разрезе (других карбонатных минералов не обнаружено) [6–8], и карбонатность, определенная по СаО_{карб}, выступает оценочным прокси, в основном отражающим карбонатную составляющую в изучаемых образцах. Оценка содержания СаО_{карб} проводилась по разнице между содержаниями СаО и Са*О, где Са* – силикатный кальций, рассчитанный согласно методике S.M. McLennan (1993 г.) [1; 5].

Для расчета содержания СаСО₃ применен стехиометрический подход, основанный на уравнении химической реакции



Уравнение показывает, что на 1 моль СаО приходится 1 моль СаСО₃. Следовательно, для перевода массы СаО в массу СаСО₃ можно использовать коэффициент, рассчитанный на основе соотношения молярных масс этих веществ.

Молярная масса СаО составляет 56,08 г/моль, а молярная масса СаСО₃ – 100,09 г/моль. Коэффициент рассчитывается как отношение молярной массы СаСО₃ к молярной массе СаО и его значение составляет ≈ 1,7857. Таким образом, карбонатность (содержание СаСО₃) определялась согласно выражению

$$\text{Карбонатность (\%)} = 1,7857 * \text{СаО}_{\text{карб}} (\text{мас. \%}).$$

В процессе пробоподготовки навеску образца 2 г обрабатывали 10% НСl в течение недели до полного удаления карбонатов. Осадок отмывали дистиллированной водой центрифугированием (3 раза по 3 мин при 3000 об/мин) до нейтрального pH.

Следующий этап пробоподготовки образца к гранулометрическому анализу включал удаление органической компоненты из осадка. Образец обрабатывали 30% Н₂О₂ (12 дней, смена Н₂О₂ каждые 3 дня). Остатки Н₂О₂ удаляли отмывкой дистиллированной водой центрифугированием. Разложение органических компонентов проводилось при комнатной температуре.

Далее, высушенные пробы просеивали через сито 2 мм. Фракции > 2 мм отсутствовали. Дальнейший гранулометрический анализ проводился методом лазерной гранулометрии.

Анализ гранулометрического состава производился в лаборатории геохимии, изотопного и элементного анализа КФУ с использованием анализатора размера частиц Bluewave (Microtrac, США, заводской номер BCR66-MW08012403), совмещенного с системой загрузки и циркуляции пробы с интегрированным ультразвуковым

диспергатором. Метод основан на анализе дифракции света от частиц суспензии, где интенсивность рассеяния обратно пропорциональна размеру частиц.

Результаты гранулометрического анализа представлялись в виде таблицы с содержанием гранулометрических фракций $< 0,001$; $0,001-0,005$; $0,005-0,01$; $0,01-0,05$; $0,05-0,1$; $0,1-0,16$ мм. Составлялась также таблица с соотношением пелитовой, алевритовой и карбонатной составляющих. Для обобщения гранулометрических данных строились гистограммы (на оси абсцисс указаны конечные (максимальные) размеры зерен гранулометрических фракций, а на оси ординат – процентное содержание гранулометрических фракций) и кумулятивные кривые (на оси абсцисс указаны конечные (максимальные) размеры зерен, на оси ординат – «нарастающие проценты» содержаний фракций), определялись различные гранулометрические параметры (моды, соотношение гранулометрических фракций различных мод, медианный размер зерен, коэффициенты сортировки и асимметрии) (например, [8–10]).

Для наиболее эффективного использования гранулометрических коэффициентов в реконструктивных целях учитывались закономерности распределения размеров зерен и проводилась проверка применимости гранулометрических параметров для интерпретации гранулометрической совокупности.

По диаграмме кривых распределения фиксировались содержания размерных фракций, сортировка, асимметрия в распределении частиц. Если породы хорошо сортированы, то наблюдается одна мода – это однородная совокупность. Медианный (Md) и средний размер зерен, коэффициент сортировки (S_o) и асимметрии (S_k) наиболее информативны в этом случае. Для плохо отсортированных разностей корректнее опираться на собственно содержания гранулометрических фракций, число мод, соотношение их амплитуд, на основе работы С.А. Ковалю, 2001 г. [9–11].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты гранулометрического анализа и определения карбонатности представлены в табл. 1 и 2.

По результатам гранулометрического анализа (табл. 1) содержание пелитовой фракции (сумма содержаний фракций $< 0,001$; $0,001-0,005$; $0,005-0,01$ мм) изменяется от

35,28 % (обр. 23) до 67,92 % (обр. 38) со средним содержанием 52,7%; содержание алевритовой фракции (сумма содержаний фракций $0,01-0,05$; $0,05-0,1$ мм) – от 32,08 % (обр. 38) до 64,72 (обр. 23) со средним содержанием 47,22%. Псаммитовая фракция ($0,1-0,16$ мм) отмечена лишь в трех образцах и характеризуется малыми содержаниями (обр. 25 – 0,07 %, обр. 29 – 0,72 %, обр. 30 – 0,36 %). Вверх по разрезу выше обр. 30 наблюдается присутствие только пелитовой и алевритовой фракций (табл. 1).

Карбонатность довольно значительна, варьирует от 13 до 37 % со средним значением 23 % (табл. 2). Вверх по разрезу отмечается увеличение карбонатности (табл. 2).

По данным гранулометрии и определения карбонатности исследуемая выборка образцов представлена следующими петротипами согласно классификации [3, с. 45–86]: глина известково-алевритовая (5 образцов: обр. 35 слой 6–9; обр. 37 слой 6–11; обр. 39 слой 6–15; обр. 40 слой 6–17; обр. 43 слой 6–20), алевролит известково-глинистый (7 образцов обр. 23, 25 и 26 слой 6–1; обр. 29 слой 6–4; обр. 30 слой 6–5; обр. 33 слой 6–7; обр. 36 слой 6–9); мергель глинисто-алевритовый (2 образца: обр. 24 слой 6–1; обр. 38 слой 6–13); мергель алевролитовый (1 образец: обр. 41 слой 6–19) (табл. 2, рис. 3).

Таким образом, изучаемые лингуловые глины относятся к типу разрезов, распространенных в Закамье Республики Татарстан и сложены глинами известково-алевритовыми, алевролитами известково-глинистыми и мергелями алевролитовыми и глинисто-алевритовыми.

На рис. 4, А и Б, показаны гистограммы и кумулятивные кривые содержаний гранулометрических фракций. В табл. 3 представлены значения гранулометрических параметров.

Все образцы характеризуются бимодальными гистограммами (рис. 4, А), то есть авторы имеют дело с неоднородными совокупностями. Следовательно, Md , S_o , S_k недостаточно информативны для характеристики гранулометрического состава (например, [12–14]). В этом случае целесообразнее пользоваться характеристиками мод. Например, рассмотрены моды Mo_1 и Mo_2 и соотношение их амплитуд I_1 и I_2 (рис. 4, А, табл. 3).

В образцах (24, 35, 38, 40, 43) с самой плохой сортировкой $I_1 \approx I_2$. Относительно лучше отсортированы образцы со средним значением $I_2/I_1 = 2,06$ в интервале слоя 6–1 до слоя 6–7 преимущественно в нижней части разреза.

Таблица 1

Результаты гранулометрического анализа (содержание фракций, %)

Размеры фракций, мм	Содержание фракций, %													
	Обр. 23		Обр. 24		Обр. 25		Обр. 26		Обр. 29		Обр. 30		Обр. 33	
< 0,001	3,35	4,46	29,60	59,56	4,28	48,38	3,94	48,41	4,30	47,66	4,04	44,28	4,43	4,95
0,001–0,005	17,68	35,28	25,50	40,44	25,07	51,55	25,47	51,58	25,03	51,63	22,63	55,36	24,46	33,83
0,005–0,01	14,25	39,68	0,76	0,00	19,03	47,52	19,00	46,71	18,33	4,92	17,61	0,36	19,95	25,00
0,01–0,05	59,76	64,72	0,00	0,00	4,03	0,07	0,00	0,00	0,72	0,72	51,30	0,36	51,16	35,35
0,05–0,1	4,96	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00	0,72	0,72	4,06	0,36	2,22	0,86
0,1–0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00	0,72	0,72	0,36	0,36	0,00	0,00
Размеры фракций, мм	Содержание фракций, %													
	Обр. 36		Обр. 37		Обр. 38		Обр. 39		Обр. 40		Обр. 41		Обр. 43	
< 0,001	4,19	4,29	26,70	52,85	4,90	67,92	4,79	54,58	4,89	56,96	4,63	51,87	4,97	60,38
0,001–0,005	24,19	49,73	21,86	47,15	37,05	32,08	25,79	45,41	30,40	43,04	26,96	48,14	33,06	39,61
0,005–0,01	21,35	45,72	1,43	0,00	25,97	0,52	24,00	1,04	21,67	0,92	20,28	0,00	22,35	0,00
0,01–0,05	48,54	50,26	0,00	0,00	31,56	32,08	44,37	45,41	42,12	43,04	46,62	48,14	38,38	39,61
0,05–0,1	1,72	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	1,04	0,00	0,92	0,00	1,52	0,00	1,23	0,00
0,1–0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица 2

Соотношение глинистой, алевроитовой фракций и карбонатов

Образец	Уровень отбора, м	Слой	CaO, мас. %	CaO _{карб.} мас. %	Карбонатность, %	Глинистая фракция, %	Алевроитовая фракция, %	Петротип по классификации [13]
23	1,46	6-1	7,86	6,51	15	30	55	Алевролит известково-глинистый
24	1,66	6-1	7,13	5,92	32	41	28	Мергель глинисто-алевроитовый
25	1,96	6-1	7,52	6,53	15	41	44	Алевролит известково-глинистый
26	2,46	6-1	7,94	6,74	16	41	44	Алевролит известково-глинистый
29	3,46	6-4	6,68	5,42	13	41	45	Алевролит известково-глинистый
30	4,46	6-5	8,68	7,33	17	37	46	Алевролит известково-глинистый
33	6,46	6-7	10,67	9,91	23	38	40	Алевролит известково-глинистый
35	7,96	6-9	10,98	9,60	22	50	28	Глина известково-алевроитовая
36	8,46	6-9	13,47	12,54	28	36	36	Алевролит известково-глинистый
37	8,96	6-11	10,29	9,19	21	42	37	Глина известково-алевроитовая
38	9,46	6-13	16,70	15,55	33	45	21	Мергель глинисто-алевроитовый
39	10,46	6-15	11,19	10,27	28	39	33	Глина известково-алевроитовая
40	11,46	6-17	11,63	10,42	24	43	33	Глина известково-алевроитовая
41	12,17	6-19	19,04	17,88	37	33	31	Мергель алевролитовый
43	13,4	6-20	10,41	9,36	23	46	30	Глина известково-алевроитовая

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

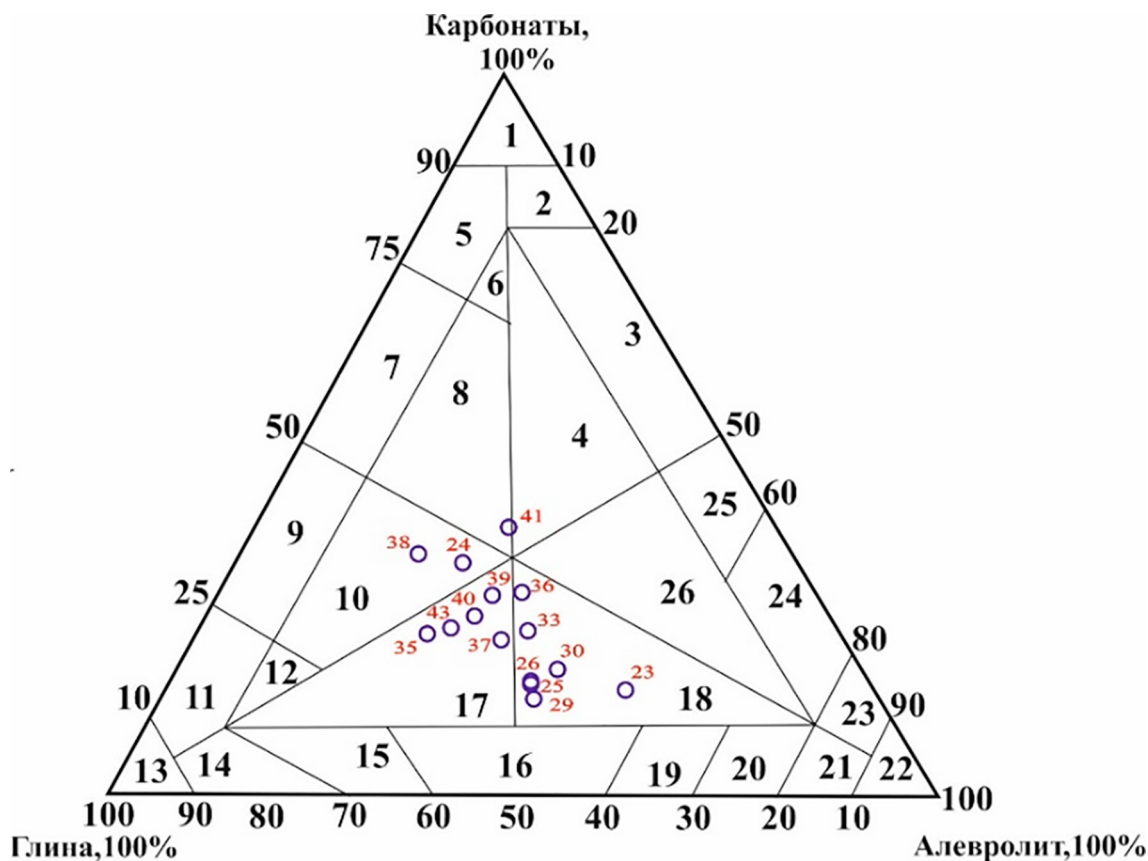


Рис. 3. Распределение петротипов толщи «лингуловых глин»:
8 – мергель алевролитовый, 10 – мергель глинисто-алевритовый,
17 – глина известково-алевритовая, 18 – алевролит известково-глинистый
Источник: составлено авторами на основе [3, с. 45–86]

Таблица 3

Гранулометрические параметры

Образцы	S_o	S_k	Md, мм	I_2/I_1
23	2,09	0,83	0,0151	3,33
24	2,40	0,95	0,0078	1,33
25	2,48	0,85	0,0105	1,88
26	2,63	0,72	0,0105	1,88
29	2,51	0,83	0,0107	1,84
30	2,37	0,81	0,012	2,24
33	2,40	0,83	0,0105	1,96
35	2,40	0,87	0,0069	1,04
36	2,32	0,93	0,0100	1,96
37	2,45	0,87	0,0091	1,67
38	2,34	0,83	0,0063	0,87
39	2,32	0,98	0,0087	1,67
40	2,57	0,95	0,0079	1,37
41	2,48	0,89	0,0093	1,71
43	2,54	0,93	0,0072	1,18

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

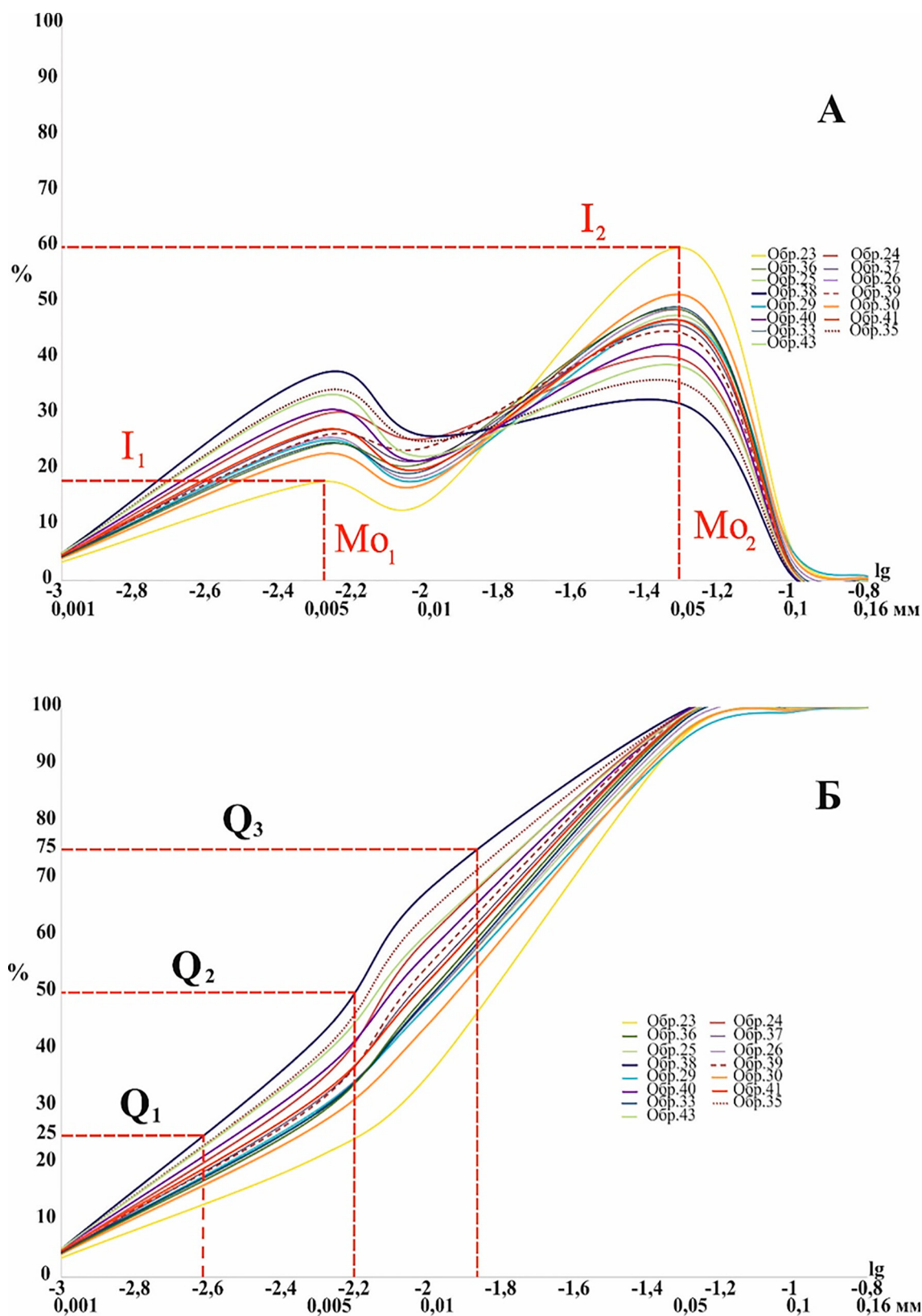


Рис. 4. А – гистограммы гранулометрических фракций. I_1 , I_2 – примеры амплитуд двух мод и значения мод (Mo_1 и Mo_2) по образцу 23 (слой 6–1); Б – кумулятивные кривые гранулометрических фракций. В качестве примера красными пунктирными линиями обозначены квартили (для гранулометрических коэффициентов) для образца 38 (слой 6–14)
 Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

[illegible]

Рис. 5. Вариации параметров гранулометрического состава и карбонатности по разрезу пачки «линзуловых глин» в междуречье р. Лесная Шешма и Инэш. Условные обозначения: 1 – алевролиты, 2 – глины, 3 – мергели, 4 – известняки, 5 – двустворки морские, 6 – мианки сетчатые и ветвистые, 7 – брахиоподы замковые, 8 – брахиоподы беззамковые, 9 – остракоды морские, 10 – фациальная кривая

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования

На рис. 5 показаны вариации состава петротипов и основных параметров гранулометрического состава (графики I–IV).

График I демонстрирует разнообразие петротипов, представленных в табл. 2 и на рис. 3.

Графики II и III показывают изменение соотношения содержаний гранулометрических фракций (график II – все фракции; график III – группы фракций (пелитовая, алевролитовая, псаммитовая).

График IV демонстрирует, как изменяется неоднородность гранулометрического состава (по соотношению амплитуды двух мод (I_2/I_1)).

В целом выявлены следующие особенности литологической изменчивости.

Наличие фракции (0,1–0,16 мм) отмечено в нижней части пачки (образцы 25, 29 и 30). Фракция (0,05–0,1 мм) наблюдается преимущественно в нижней части разреза, постепенно она сокращается снизу вверх по разрезу, а доля более мелких фракций < 0,001 мм и 0,001–0,005 мм увеличивается. При этом возрастает и карбонатность. Это может свидетельствовать об относительном ослаблении привноса терригенных частиц и усилении тиховодного режима среды осадконакопления, с течением времени формирования изучаемой пачки [9; 14; 15].

Можно отметить четыре выраженных уровня (Г1 – Г4) по заметному увеличению содержаний фракции (0,001–0,005 мм) в образцах 24 (29,6% – слой 6–1), 35 (35,35% – слой 6–9), 38 (37,05% – слой 6–13) и 43 (38% – слой 6–20) (график II). Данные уровни отмечаются относительно пониженными значениями I_2/I_1 (обр. 24 (1,33); обр. 35 (1,04); обр. 38 (0,87); обр. 43 (1,18) (график IV). Выявленные уровни соответствуют увеличению неоднородности гранулометрических совокупностей и, вероятно, отражают практическое отсутствие перемычки терригенного материала. Гранулометрическая неоднородность более высокая в группе слоев 6–7÷6–20 по сравнению с группой слоев 6–1÷6–6. Указанное группирование сохраняется и по вариациям карбонатности: нижняя группа слоев характеризуется пониженной карбонатностью, а верхняя группа слоев – повышенной карбонатностью.

При сопоставлении исследуемого разреза с литолого-фациальной моделью пачки лингуловых глин (рис. 1, А) можно видеть, что группа слоев 6–1÷6–6 соотносится с обстановками центральной части мелководного шельфа, а группа слоев 6–7÷6–20 – с обстановками восточной части мелководного

шельфа, находящейся под влиянием лагунной обстановки.

Согласно работе [1] при изучении многочисленных разрезов казанских отложений на территории РТ оценка длительности казанского века составила ~6 млн лет, а литоединицы толщиной 12,5–13,5 м соответствуют, вероятнее всего, прецессионным циклам (~21 тыс. лет), и тогда скорость формирования изучаемой пачки можно оценить как ~0,6 мм/год. А в классификации циклов по A.D. Miall (1997 г.) пачка «лингуловых глин» относится к категории циклов (секвенсов) D [1].

Заключение

Проведенное исследование гранулометрического состава и карбонатности пачки лингуловых глин в междуречье р. Лесная Шешма и Инэш на юго-востоке Татарстана позволило сделать следующие выводы.

Пачка «лингуловых глин» с обилием *Lingula orientalis* Gol. соответствует типу разреза, распространенного в Закамье Республики Татарстан, и представлена глинами известково-алевритовыми, алевролитами известково-глинистыми и мергелями алевролитовыми и глинисто-алевритовыми, формировавшимися в условиях мелководного морского шельфа и лагун.

Распределение гранулометрических фракций характеризуется бимодальностью, что свидетельствует о неоднородности гранулометрических совокупностей.

Вверх по разрезу наблюдается исчезновение мелкопсаммитовой фракции и увеличение карбонатности, что свидетельствует об усилении влияния лагунного режима осадконакопления согласно литолого-фациальной модели Н.Н. Форша.

Оценка скорости формирования изучаемой пачки составляет ~0,6 мм/год, а цикл ее формирования относится к категории D по классификации осадочных циклов Миялла.

Список литературы

1. Нургалиева Н. Пермские осадочные разрезы востока Русской плиты. Цикличность и фрактальные образы. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2010. 210 с. ISBN 9783843301008.
2. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. Т. II. Девонский, каменноугольный и пермский периоды / Под ред. Н.В. Наливкина, В.М. Познера, Н.Н. Форша // Всесоюзный аэрогеологический трест Министерства геологии СССР. М., 1969.
3. Ильясова А.С. О литологии лингуловой толщи в Закамье: дис. ... канд. Казань, 1951. 192 с.
4. Нургалиева Н.Г., Чернова И.Ю., Нургалиев Д.К. «Лингуловые глины»: литологические особенности регио-

нального репера // Нефтегазовое дело. 2008. 23 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Nurgalieva/Nurgalieva_2.pdf (дата обращения: 23.04.2025).

5. Фахрутдинов Э.И., Нургалиева Н.Г. Литофации уфимско-казанских отложений востока Русской плиты. Гетерогенность в осадочных системах. Материалы 14 Уральского литологического совещания (научной конференции). Екатеринбург: ИГГ УРО РАН, 2024. С. 207–210. ISBN 978-5-9078872-2-0.

6. Фахрутдинов Э.И., Нургалиева Н.Г., Хасанова Н.М., Силантьев В.В. Литолого-фациальные особенности нижне-казанских отложений по данным ЭПР опорного разреза // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2015. № 157 (3). С. 87–101. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/litologo-fatsialnye-osobennosti-nizhnepkazanskih-otlozheniy-po-dannym-epr-opornogo-razreza/viewer?ysclid=mcojhy2u25649154024> (дата обращения: 23.04.2025).

7. Nurgalieva N.G., Silantiev V.V., Fakhrutdinov E.I., Gareev B.I., Batalin G.A. The Lower Kazanian rocks as shallow marine facies (south-eastern Tatarstan) on geochemistry data – ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11, № 23. С. 13462–13471. URL: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2016/jeas_1216_5413.pdf (дата обращения: 23.04.2025).

8. Sagirov R., Mullakaev A., Khasanov R. Reasons of the inhomogeneity of the composition and the internal structure of bitumen-saturated sands in permian deposits of Tatarstan (Russian federation) // International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2019. Vol. 19, Is. 1.1. P. 483–490.

9. Ovsyany E.I., Gurov K.I. Research of organic carbon and carbonate content in the bottom sediments of the Crimean Southern coast shelf // Physical Oceanography. 2016. № 1. P. 60–70. DOI: 10.22449/1573-160X-2016-1-60-70.

10. Кудряшова Л.К. Гранулометрический анализ как основной метод обоснования условий формирования пластов-коллекторов ЮК2-5 ЕМ – Еговской площади (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг Георесурсов. 2015. Т. 326. № 10. URL: http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin_TPU/2015/v326/i10/13.pdf (дата обращения: 23.04.2025).

11. Муллакаев А.И., Сунгатуллин Р.Х., Мингазутдинов А.Н., Косарев Я.С. Литология битуминозных песчаников Ашальчинского месторождения, Южно-Татарский свод // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2025. № 2. С. 13–21. DOI: 10.17308/geology/1609-0691/2025/2/13–21.

12. Alekseeva T.N., Politova N.V., Kozina N.V. Grain Size Distribution of the Surface Layer of Bottom Sediments in the Barents Sea. Oceanology. 2020. № 60 (6). С. 803–816. DOI: 10.1134/S0001437020050021.

13. Houchun Guan, Cheng Zhu, Tongxin Zhu, Li Wu, Yunhuai Li. Grain size, magnetic susceptibility and geochemical characteristics of the loess in the Chaohu lake basin: Implications for the origin, palaeoclimatic change and provenance // Journal of Asian Earth Sciences. 2016. Vol. 117. P. 170–183. DOI: 10.1016/j.jseaes.2015.12.013.

14. Гуров К.И. Результаты мониторинга гранулометрического состава наносов береговой зоны Каламитского залива // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. № 3. С. 56–63. DOI: 10.22449/2413-5577-2018-3-56-63.

15. Арефьев С.В., Чудинова Д.Ю., Котенев Ю.А., Султанов Ш.Х., Махныткин Е.М., Дарментаева Д.А. Реконструкция условий формирования васюганской свиты на основе использования комплекса гранулометрического анализа терригенных отложений // Нефть. Газ. Новации. 2022. № 3 (256). С. 32–36. EDN: KWXXFL. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49222530&ysclid=mebcflgkrt718639657> (дата обращения: 23.04.2025).

СТАТЬИ

УДК 550.837.76:551.34

DOI 10.17513/use.38421

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕЗОННОГО ЛЬДА И СНЕГА
ПРИ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СУШИ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЛЕНА****¹Горохов И.В., ²Христофоров И.И., ²Данилов К.П.**¹ФИЦ «Якутский научный центр» СО РАН, Якутск, e-mail: gorokhovivan1996@gmail.com²Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск

Исследование направлено на определение влияния сезонного льда и снега и их геометрических параметров на эффективность георадиолокационного зондирования водных объектов суши в зимний период. Рассмотрены ограничивающие факторы льда и снега в контексте законов распространения электромагнитных волн в средах. Основной целью данной работы является оценка влияния толщины льда и снега на распространение георадарного сигнала с частотой 150 МГц. Натурные георадарные измерения выполнены на участке реки Лена по двум профилям с учетом динамики нарастания льда и снега в течение зимы и сравнивались с результатами численного моделирования в программе gprMax. Аналитический расчет подтвердил, что доля энергии георадарного сигнала с центральной частотой 150 МГц, достигающей границы донных отложений, в значительной степени зависит от отражения на границе лед-вода и затухания в самом водном слое. Сравнение натурных и численных данных показало достаточно высокое соответствие формы и времени прихода сигналов. В результате верификации численной модели и использования ее при различных геометрических параметрах льда и снега установлено, что георадарная антенна с центральной частотой 150 МГц может обеспечивать результаты, сопоставимые с измерениями по открытой воде при толщине до 40 см. Количественное сравнение натурных и расчётных данных выявило расхождения, начинающиеся при толщине льда более 80 см. По натурным данным наблюдается, что снежный покров выступает в роли естественного фильтра, ослабляющего помехи. Результаты исследования показали, что для достижения максимальной эффективности зимних исследований рекомендуется проведение полевых работ с учетом оптимально выбранных параметров антенны к толщине льда и снега.

Ключевые слова: георадиолокация, река Лена, лед, снег, численное моделирование, gprMax, коэффициент отражения, затухание сигнала, амплитуда сигнала

**INFLUENCE OF ICE AND SNOW COVER
TO GROUND-PENETRATING RADAR SOUNDING
ON WATER BODIES ON EXAMPLE OF THE LENA RIVER****¹Gorokhov I.V., ²Khristoforov I.I., ²Danilov K.P.**¹FRC "Yakut Scientific Center" of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: gorokhovivan1996@gmail.com²Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk

The study aims to determine the influence of seasonal ice and snow and their geometric parameters on the efficiency of GPR (ground-penetrating radar) sounding of water bodies in winter. The reducing of GPR sounding efficiency due to negative influence of ice and snow cover are considered. Propagation of electromagnetic waves were studied by Maxwell equations. The main objective of this work is to assess the influence of ice and snow thickness on the propagation of a 150 MHz GPR signal. Field-based GPR measurements were performed on the Lena River section along two profiles, taking into account the dynamics of ice and snow accumulation during the winter, and were compared with the results of numerical modeling in the gprMax program. Analytical calculations confirmed that the fraction of the GPR signal energy with a central frequency of 150 MHz that reaches the bottom sediment boundary is significantly influenced by the reflection at the ice-water interface and the attenuation in the water layer itself. A comparison of the field-based and numerical data showed a fairly good correspondence in terms of the shape and arrival time of the GPR signal.

Keywords: Ground penetrating radar, Lena River, ice cover, snow cover, numerical simulation, gprMax, reflection coefficient, signal attenuation, signal amplitude

Введение

Георадиолокация, как неинвазивный геофизический метод исследования, за последние десятилетия значительно расширил спектр решаемых задач [1]. Одним из распространенных применений георадаров является изучение строения поверхностных вод и структуры их донных отложений. В ключевые задачи на водных объектах

чаще всего входят точная оценка глубины, контроль состояния грунтов подводных частей инженерных сооружений и мониторинг гидродинамических процессов в реках и озёрах [2; 3]. Кроме того, метод позволяет обнаруживать подводные объекты различной природы, например затонувшую технику или бивни мамонта [4; 5]. К основным преимуществам георадиолокации, одно-

значно можно отнести высокую скорость сбора данных, возможность высокоточной географической привязки, а также способность исследовать структуру пород, подстилающих водный слой.

Большинство георадарных исследований выполняется с поверхности воды с использованием различных плавсредств, поскольку отсутствие сезонного льда и снега обеспечивает максимально возможную глубину зондирования и высокое разрешение [6]. Также часть исследований в летне-осенний период выполняется гидроакустическими инструментами, которые могут предоставить большую глубинность и не менее быстрый сбор данных. Однако водные объекты, расположенные в зоне с влиянием многолетнемерзлых пород, промерзают с октября и остаются под льдом более шести месяцев в году. Длительный период ледостава значительно усложняет планирование и выполнение георадарных исследований на водных объектах в зимний период. Следует отметить, что способность проводить исследования водных объектов с поверхности льда и снега является уникальным преимуществом георадиолокации в сравнении с гидроакустическими методами, которые технически неосуществимы или экономически невыгодны. В данном контексте георадиолокация предлагает ряд существенных преимуществ, позволяя получать непрерывные разрезы с информацией о строении самой ледяной толщи, глубины водного объекта и морфологии дна без прямого контакта с водой.

Тем не менее работа георадара в зимних условиях сопряжена с рядом сложностей, вызванных многослойностью сред, которые значительно влияют на формирование и распространение электромагнитных волн, тем самым ограничивая глубинность и разрешающую способность исследований. Одной из ключевых задач в данном направлении является исследование степени и характера влияния снежного и ледяного покровов на формирование и распространение георадарного сигнала в исследуемых средах.

Цель исследования – оценить влияние геометрических параметров и электрофизических свойств сезонного льда и снега на процессы распространения георадарного сигнала частотой 150 МГц.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является многослойная горизонтальная система сред, состоящая из снежного покрова, льда, во-

дного слоя и донных отложений. Методика заключается в комплексировании результатов натурных георадиолокационных исследований и численного моделирования, учитывающих изменение мощности снега, льда и воды для детального анализа характера распространения сигнала георадара с частотой 150 МГц.

В Республике Саха (Якутия), где получены натурные данные, снежный и ледяной покровы нарастают равномерно при стабильно отрицательных температурах в течение зимнего периода и их мощность в реках и озерах может достигать 3-4 м суммарно, что может иметь существенное влияние при зондировании в многослойной системе сред [7, с. 71]. Полевые исследования проведены на участке реки Лена в административном округе города Якутск. Особенность данного района обусловлена сочетанием экстремальных климатических условий, динамичной гидрологии и сложного геокриологического фона, создающего «естественную лабораторию» для изучения георадарного сигнала при зимнем зондировании водных объектов [7 с. 30; 8]. За период измерений на участке исследований сформирован устойчивый снежный покров. Ледовый режим реки Лена характеризуется ранним ледоставом в октябре, и толщина льда на исследуемом участке в 2022 году достигла 113-130 см.

Мониторинговые измерения выполнены на специализированном полигоне, который состоит из двух профилей. Первый профиль представляет собой участок реки с искусственно очищенной поверхностью, где снежный покров полностью удалялся для минимизации его воздействия на сигнал. Толщина льда на момент начала цикла измерений составляла 33 см. Второй профиль сохранял естественный снежный покров, толщина которого варьировалась от 8 см в начале наблюдений до 35 см в период максимального накопления. Мощность льда на втором профиле на конец цикла наблюдений достигла 113 см. Мониторинг осуществлялся в период с 30 ноября 2021 года по 12 апреля 2022 года с использованием георадара «ОКО-3», оснащенного антенным блоком с центральной частотой 150 МГц.

В процессе зондирования для минимизации погрешностей, связанных с естественной неоднородностью среды, толщина льда и снега дополнительно контролировалась ручным бурением и снегомерной рейкой, а также применялся оптический одометр для максимально точного соблюдения дистанции и географической привязки.

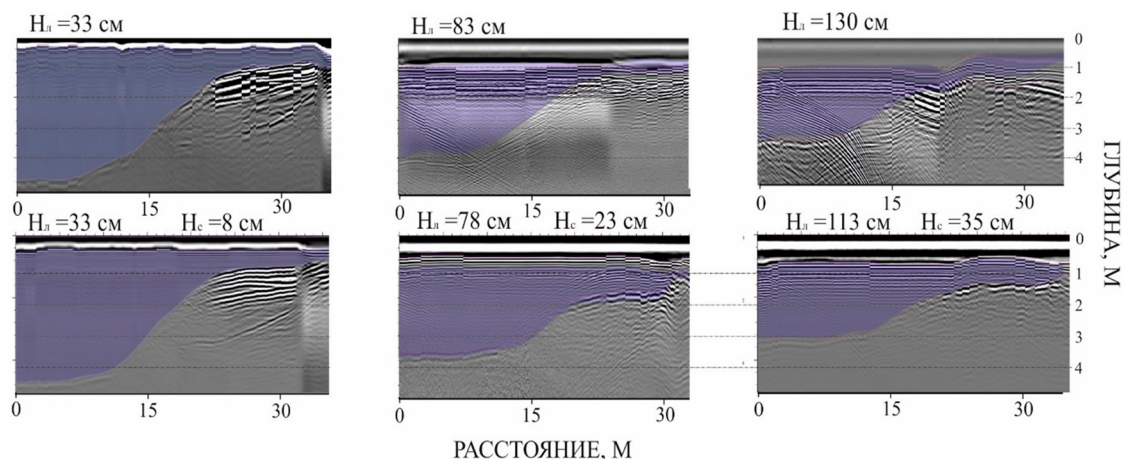


Рис. 1. Георадарные разрезы при разных толщинах снега и льда
Примечание: рисунок составлен авторами по результатам исследования

При обработке данных рассматривались амплитудные характеристики сигнала, время прихода отраженных импульсов и видимая мощность сигналов помех: кратные переотражения и помехи, вызванные структурными нарушениями в толще льда (рис. 1). Всего в ходе исследований было выполнено 12 циклов измерений, в результате которых получено 24 радарограммы.

Распространение электромагнитных волн при георадиолокации водных объектов в зимний период определяется сложным взаимодействием сигнала со снежным и ледяным покровами и подстилающими их слоями. Одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность зондирования, являются геометрические параметры сред, а именно толщина среды в многослойной системе [9]. Так, например, слой воды приводит к экспоненциальному ослаблению сигнала, ограничивая глубину зондирования [10].

Снег выступает первым слоем, модифицирующим амплитуду и частотный состав импульса в зависимости от его влажности и плотности. Сухой снег, обладая низкой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon = 1.2$ до 2.8) и минимальной проводимостью, слабо влияет на затухание, позволяя сохранять до 95% энергии сигнала даже при значительной мощности покрова [11]. Однако при насыщении снега влагой его диэлектрическая проницаемость и электропроводность возрастает, что приводит к усилению отражения и поглощения высокочастотных компонент волн.

Ледяной слой, формирующий поверхность водного объекта, вносит основную сложность за счет выраженного отражения

на границе с водой. Контраст диэлектрических свойств льда – 3.2 и воды – 81 вызывает отражение до 67% энергии сигнала, что сокращает долю волны, проникающей вглубь. При этом затухание в самом ледовом массиве остается умеренным [12; 13].

Водная толща, расположенная под льдом, является ключевым ограничивающим фактором для георадиолокационных исследований. Высокая диэлектрическая проницаемость и проводимость воды приводят к экспоненциальному затуханию сигнала, которое усиливается с увеличением частоты антенны.

С использованием формул расчета коэффициента отражения для нормального падения (1), коэффициента затухания для слабо проводящих сред (2) и формулы амплитуды отраженного сигнала на глубине (3) составлена таблица, в которой указаны рассчитанные значения в зависимости от среды, их электрофизических свойств и толщины [10; 14].

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}}, \quad (1)$$

где ϵ_1 и ϵ_2 – относительные диэлектрические проницаемости первой и второй сред соответственно.

$$\alpha = \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \times 8.686, \quad (2)$$

где σ – электропроводность среды (См/м), $\mu = \mu_0 \mu_r$ – магнитная проницаемость среды, ($\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Гн/м для вакуума, $\mu_r = 1$ для большинства геологических сред), $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ –

диэлектрическая проницаемость среды ($\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ Ф/м, ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость среды), множитель 8.686 используется для перевода Нп/м в дБ/м.

$$A_n = A_0 \cdot \prod_i^n ((1 - R_i) \cdot e^{-\alpha_i h_i}), \quad (3)$$

где A_0 – амплитуда зондирующего сигнала, второй множитель представляет собой произведение коэффициентов проникновения на границах, умноженных на экспоненциальный множитель, отражающий уменьшение амплитуды сигнала при прохождении сигнала через слой толщиной h и коэффициентом затухания α .

Построение численной модели георадиолокационного зондирования выполнено в программном комплексе gprMax, основано на решении уравнений Максвелла с использованием конечно-разностной схемы FDTD, учитывающей дисперсию и анизотропию сред [15]. Для построения модели и упрощения расчетов выбран фрагмент из реальных георадарных данных с квази-горизонтальным дном (рис. 2). Диапазоны мощностей сред, включенных в модель, составили от 0 до 35 см для снежного покрова, от 5 до 150 см для ледяного покрова, и мощность водного слоя варьировалась от 250 до 500 см, толщина донных отложений фиксирована и составляет 20 см.

Электрофизические свойства сред
и расчетные параметры распространения сигнала 150 МГц

Среда	Диапазон толщин (см)	Относительная диэлектрическая проницаемость (ϵ_r)	Электропроводность (σ , См/м)	Коэффициент затухания (α , дБ/м)	Коэффициент отражения на нижней границе слоя (R)
Снег сухой	0-35	1.2	0.0001	0.027	0.24
Лёд	5-150	3.2	0.001	0.082	
Вода	250-500	81	0.0154–0.1	0.88-5.73	0.67
Донные отложения (влажные пески)	20	20	0.01-0.1	11.55	0.34

Примечание: таблица составлена авторами на основе рассчитанных данных в ходе исследования.

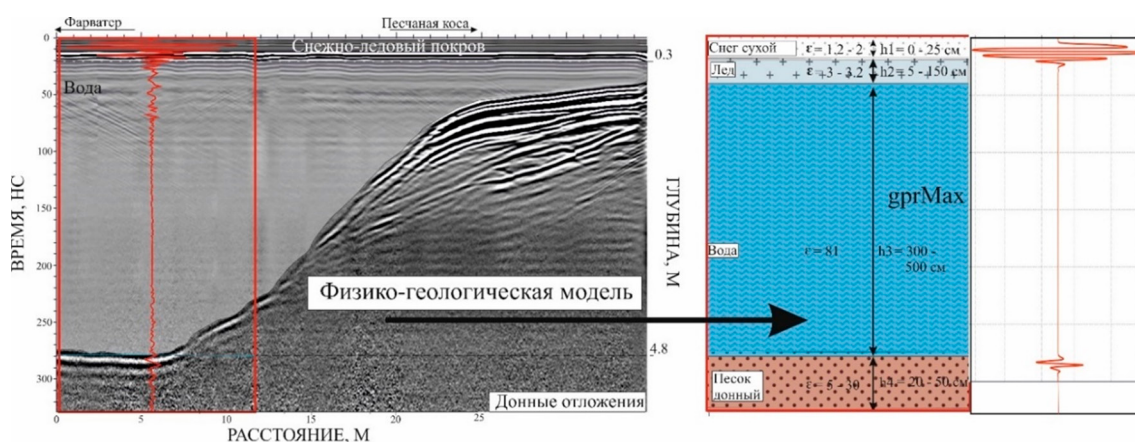


Рис. 2. Физико-геологическая модель выбранного фрагмента реальных данных
Примечание: рисунок составлен авторами по результатам исследования

Помимо физико-геологической модели, в программе также указывается форма импульса, ее частота и расположение источника, где форма импульса выбрана Рикера с центральной частотой 150 МГц, соответствующая георадару ОКО-3. Граничные условия приняты в виде идеально согласованных слоев. Шаг дискретизации Δ выбран по условию, удовлетворяющему выражению (4), и равен 5 мм по всем осям [14; 15].

$$\Delta \leq \lambda_{\min} / 10, \quad (4)$$

где $\lambda_{\min}$ — минимальная длина волны в среде, определяемая отношением скорости света к произведению максимальной частоты антенны на относительную диэлектрическую проницаемость среды.

Основная задача численного моделирования заключалась в сопоставлении синтетических A-scan трасс с реальными сигналами, зарегистрированными на мониторинговом полигоне для последующего сравнения форм сигналов и анализа влияния снежного и ледяного покровов. Также с помощью численных моделей появляется возможность в исследовании форм сигналов и их характера изменений при различных вариациях мощностей и свойств снега и льда. Так, например, дополнительно могут быть рассчитаны ситуации с отсутствием льда и снега и при их постепенном наращивании до предель-

ных значений. Однако обязательным этапом в создании любой расчётной модели является ее верификация, которая требует точного описания геометрических параметров и электрофизических свойств моделируемых сред. Так, в данной работе численные данные нормировались к натурным данным путём сопоставления формы сигналов и времени прихода отраженных сигналов. На рисунке 3 представлено сравнение форм синтетических трасс с реальными сигналами, полученными в начале цикла измерений при мощности льда и снега 33 см и 8 см соответственно, и с сигналами в конце цикла при мощностях льда 130 см на очищенном профиле и 113 см льда и 35 см снега на профиле с естественным накоплением снега.

Воспроизведение трасс распространения сигнала с помощью численного моделирования позволило создать контролируемую среду для изолированного анализа влияния геометрических параметров льда и снега. Выявлена высокая качественная сходимость между полевыми и численными данными, проявляющаяся в общей форме сигнала и изменениях пиков. Это качественное совпадение подтвердило корректность заданных диэлектрических параметров сред в численной модели. Сравнение форм сигналов выявило высокую степень сходимости в динамике амплитудных изменений.

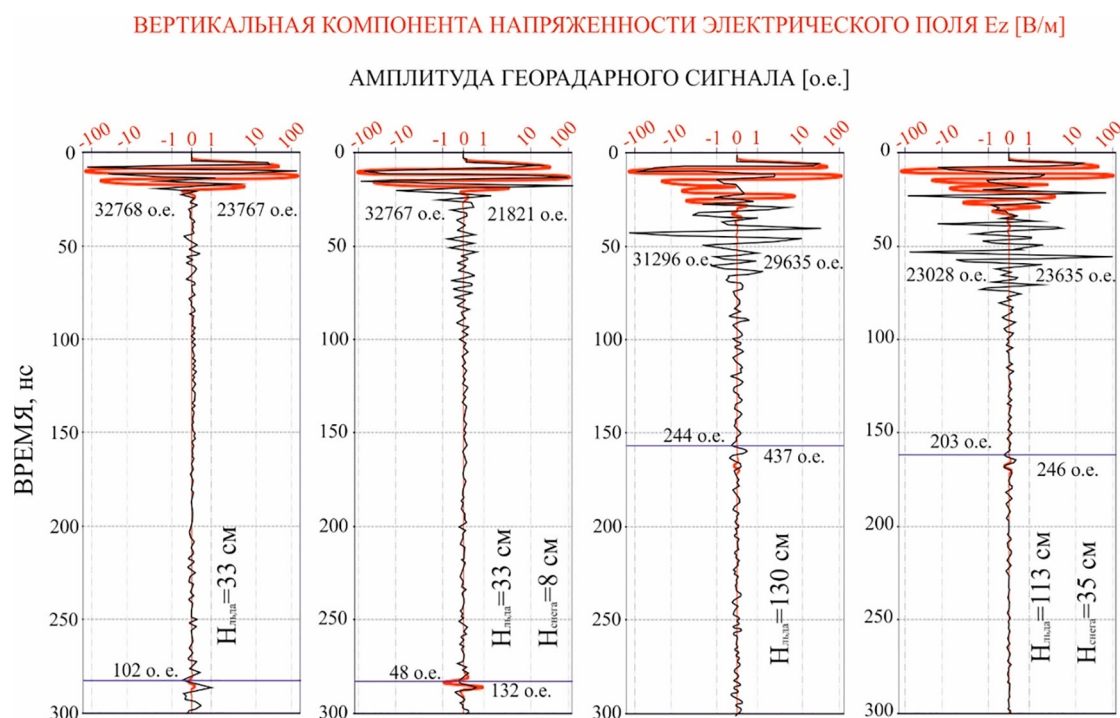


Рис. 3. Сопоставление реальных и синтетических сигналов, где красным обозначен смоделированный сигнал, черным — натурный сигнал
Примечание: рисунок составлен авторами по результатам исследования

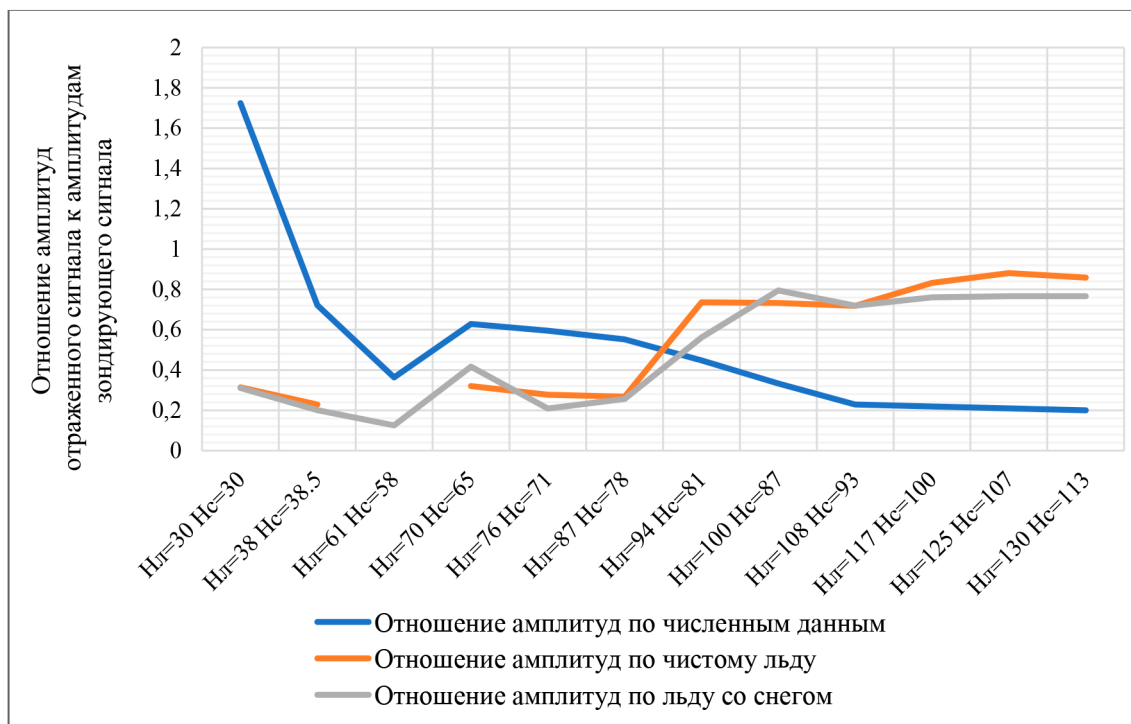


Рис. 4. Количественное сравнение численных данных с полевыми данными по двум профилям: с очищенным от снега льдом, со льда со снегом
Примечание: рисунок составлен авторами по результатам исследования

Количественное сравнение осложнено тем, что выходные данные численного моделирования выражены в вертикальной составляющей электрического поля E_z , измеряемой в В/м, а полевые натурные измерения выражены в относительных единицах. Таким образом, для количественной верификации учитывались отношения максимального значения амплитуды отраженного сигнала к максимальному значению амплитуды зондирующего сигнала.

Рассчитанные отношения амплитудных значений позволили провести количественное сравнение между натурными и численными данными, где коэффициент корреляции по Пирсону составил 0.67, что означает частичное соответствие динамики изменения амплитудных параметров сигналов. Так, в диапазоне от 75 до 130 см мощности льда и от 225 до 170 см мощности водного слоя, на графике (рис. 4) наблюдается увеличение амплитуд отраженных сигналов в натурных данных и сохраняющееся снижение амплитуд в расчетной модели.

Таким образом, верификация численной модели в *grgMax* показала её способность воспроизводить качественные характеристики георадарного сигнала. Для сравнения

количественных характеристик необходимы дальнейшие уточнения аппаратных особенностей системы и сезонной динамики свойств и структуры моделируемых сред.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ натурных данных, полученных в ходе зимнего мониторинга, позволил выявить ключевые закономерности в изменении амплитудных характеристик георадарного сигнала в зависимости от свойств многослойной среды. Зависимость амплитуды сигнала от толщины снежно-ледяного покрова демонстрировала нелинейный характер. Наблюдалось, что накопление и изменение свойств снега и льда напрямую влияют на характеристики георадарного сигнала, включая глубину проникновения и разрешение. Полевые данные исследования демонстрируют прогрессирующее уменьшение глубины воды и увеличение толщины льда, что привело к большим значениям амплитуды отраженных сигналов на границе донных отложений. К тому же натурные данные были осложнены множеством помех в виде кратных переотражений и перекрытий полезного сигнала сигналами, отраженными

от структурных нарушений внутри льда. Как видно на радарограммах (рис. 1), при увеличении толщины льда до 130 см, наблюдаются множественные переотражения и сигналы от внутренних неоднородностей, что существенно затрудняет выделение полезного сигнала от дна. Данный аспект подчеркивает, что окно для эффективного зимнего зондирования не является статичным и изменяется в зависимости от условий окружающей среды, что важно для планирования зимних исследований.

Количественное сравнение, хотя и показало умеренную корреляцию, выявило существенные расхождения, указывающие на ограничения текущей численной модели. Коэффициент 0,67 может означать, что модель качественно воспроизводит общие тенденции, но не способна точно предсказать все количественные изменения амплитуды, особенно в сложных условиях. Наиболее заметное расхождение наблюдалось в диапазоне толщины льда от 75 до 130 см и толщины водного слоя от 225 до 170 см (рис. 4), где численная модель показывала сохраняющееся снижение амплитуд отраженных сигналов, в то время как полевые данные продемонстрировали их увеличение. Данное расхождение, вероятнее всего, обусловлено тем, что текущая численная модель не учитывает ряд реальных сложностей, характерных естественному формированию речного льда и снега. К таким факторам можно отнести локальные вариации плотности льда, температурные градиенты, внутреннюю слоистость льда и снега, а также наличие трещин и воздушных пузырей. Все перечисленные неоднородности могут вызвать дополнительное рассеяние электромагнитных волн, а также создавать условия для дополнительных отражений сигнала. Таким образом, модель надежна для качественной оценки в условиях относительно небольших толщин льда до 70 см, а ее прогностическая способность для количественного анализа в условиях толстого и неоднородного льда ограничена. В связи с этим существует необходимость в дальнейшем усовершенствовании численных моделей с включением более подробных и сложных физических параметров сред на водных объектах.

На основании полученных результатов исследование показало, что в пределах диапазона толщины льда до 40 см георадар с частотой 150 МГц сохраняет достаточную глубину проникновения для эффективного исследования водной толщи и донных отложений. В данном диапазоне миними-

зировано влияние помех, таких как множественные отражения между слоями льда или отражения от структурных нарушений внутри льда. Это приводит к получению более чистых и однозначно интерпретируемых данных.

Также натурные данные показали, что при значительной мощности снежного покрова наблюдается эффект естественной фильтрации, снижающий степень влияния сигналов помех, в сравнении с данными, полученными с поверхности чистого льда. Следует отметить, что снежный покров на профиле в течение всего периода измерений максимально приближен к естественным значениям физических параметров – минимальные изменения значения плотности и влажности. Следовательно, при условии, что сухой снег обладает минимальной диэлектрической проницаемостью, приближенной к значению диэлектрической проницаемости воздуха, можно предположить, что важным аспектом, способствовавшим повышению качества, полевых данных, стало позиционирование антенного блока над поверхностью ледового покрова. Такая конфигурация, при которой приемник антенны не контактирует со льдом, позволяет минимизировать влияние сигналов, распространяющихся в ледяной толще по принципу волновода, а также ослабить отражения от внутренних структурных неоднородностей льда, которые осложняют интерпретацию георадарных данных в условиях поздней зимы с толщиной льда более 1 м.

Заключение

Полученные результаты могут лечь в основу разработки методических рекомендаций, направленных на повышение эффективности георадиолокации в условиях сезонной динамики снегонакопления и ледостава за счет географической точности точек зондирования и выбора оптимальных параметров, при которых глубинность и разрешающая способность сопоставимы данным, полученным с водной поверхности. Результаты исследования показали, что данные, полученные при мощности льда больше 40 см, могут потребовать более продвинутых методов обработки, заключающихся в различной программной фильтрации и шумоподавлении данных, а также в умении однозначного выделения полезного сигнала среди помех. Таким образом, если исследования требуют высокоточных качественных и количественных данных, рекомендуется проведение полевых геора-

дарных работ с антенным блоком с частотой 150 МГц на водных объектах при мощности льда до 40 см, что соответствует в Республике Саха (Якутия) периоду до середины декабря.

Список литературы

1. Судакова М.С., Владов М.Л. Современные направления георадиолокации // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2018. № 2. С. 3-12. DOI: 10.33623/0579-9406-2018-2-3-12.
2. Bandini F., Kooij L., Mortensen B.K., Caspersen M.B., Thomsen L.G., Olensen D., Bauer-Gottwein P. Mapping inland water bathymetry with Ground Penetrating Radar (GPR) on board Unmanned Aerial Systems (UASs) // Journal of Hydrology. 2023. Vol. 616. Is. 128789. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.128789.
3. Христофоров И.И., Омеляненко А.В. Результаты георадиолокации дна и донных отложений речных переходов линейных инженерных сооружений // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2013. №1 (69). С. 38-43. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-georadiolokatsii-dna-i-donnyh-otlozheniy-rechnyh-perehodov-lineynyh-inzhenernyh-sooruzheniy> (дата обращения: 08.06.2025).
4. Ruffell A., Powell N. Search Strategy for Buried Objects in Water: Geophysics, Probes and Dogs // Forensic Sciences. 2021. Vol. 1. P. 130-137. DOI: 10.3390/forensicsci1030012.
5. Горохов И.В., Христофоров И.И., Данилов К.П., Петухова Е.С. Натурное моделирование георадиолокационного зондирования дна р. Колымы для поиска костных остатков животных мамонтовой фауны // Проблемы Арктики и Антарктики. 2025. № 71(1). С. 74-86. DOI: 10.30758/0555-2648-2025-71-1-74-86.
6. Хаптанов В.Б., Башкуев Ю.Б., Дембелов М.Г., Нагуслаева И.Б. Георадарная и радиоимпедансная диагностика акватории реки селенги // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13(3). С. 0643. DOI: 10.5800/GT-2022-13-3-0643.
7. Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР. Л.: Гидрометеоздат. 1987. 248 с. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-216175150.pdf (дата обращения: 08.06.2025).
8. Павлова Н.А., Огонеров В.В., Данзанова М.В., Лебедева Л.С. Гидрогеологические условия поймы Лены у города Якутска // Криосфера Земли. 2023. Т. 27, № 1. С. 35-44. DOI: 10.15372/KZ20230104. EDN: QSHJCM.
9. Машков В.Г., Малышев В.А. Оценка точности реконструкции электрофизических и геометрических параметров поляриметрическим методом многослойных диэлектрических сред // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2021. № 9(2). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=934> (дата обращения: 08.08.2025). DOI: 10.26102/2310-6018/2021.33.2.002.
10. Владов М.Л., Пятилова А.М. Влияние водного слоя на глубину георадиолокационных исследований на пресноводных акваториях // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2009. № 1. URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/5652882/> (дата обращения: 08.06.2025).
11. Omelyanenko A.V., Kaygorodov K.I., Khristoforov I.I., Lazareva M.A. Experimental studies on determination of the snow cover density of reservoirs by remote GPR // Proceedings of the 15th International Conference on Ground Penetrating Radar, Brussels, Belgium. 2014. P. 192-195. DOI: 10.1109/ICGPR.2014.6970412.
12. Richards E., Stuefer S., Rangel R.C., Maio C., Belz N., Daanen R. An evaluation of GPR monitoring methods on varying river ice conditions: A case study in Alaska // Cold Regions Science and Technology. 2023. Vol. 210, Is. 103819. DOI: 10.1016/j.coldregions.2023.103819.
13. Han H., Li Y., Li W., Liu X., Wang E., Jiang H. The Influence of the Internal Properties of River Ice on Ground Penetrating Radar Propagation // Water. 2023. Vol. 15. Is. 889. DOI: 10.3390/w15050889.
14. Судакова М.С., Владов М.Л., Садуртдинов М.Р. Влияние электропроводности на коэффициент отражения электромагнитной волны // Вестник московского университета. Серия 4. Геология. 2018. № 1. С. 100-106. DOI: 10.33623/0579-9406-2018-1-100-106.
15. Warren C., Giannopoulos A., Giannakis I. gprMax: Open source software to simulate electromagnetic wave propagation for Ground Penetrating Radar // Computer Physics Communications 2016. Vol. 209. P. 163-170. DOI: 10.1016/j.cpc.2016.08.020.

УДК 622.24.06
DOI 10.17513/use.38422

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БУРОВОГО РАСТВОРА НА ОРГАНИЧЕСКОЙ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ОСНОВЕ

Чудинова И.В., Гильфанова А.Ф., Решетникова М.В.

*Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск,
e-mail: i_chudinova@ugrasu.ru*

Данная статья посвящена исследованию технологических параметров бурового раствора на основе рапсового масла в смеси с метиловыми эфирами жирных кислот в качестве раствора первичного вскрытия продуктивных пластов. Основной задачей исследования было изучение влияния состава бурового раствора и условий его эксплуатации на изменение технологических параметров, оценка его эффективности в сохранении исходных характеристик продуктивных пластов, а также соответствия предложенного состава экологическим нормам. В ходе работы авторами проводились лабораторные исследования бурового раствора согласно стандарту ГОСТ 33697-2015. В рамках проведенного исследования были подробно проанализированы такие характеристики бурового раствора, как плотность, пластическая вязкость, динамическое и статическое напряжения сдвига, показатель фильтрации, электростабильность и седиментационная устойчивость. В результате была дана оценка целесообразности применения промысловой жидкости, содержащей растительное масло в качестве дисперсионной среды. Проведенное исследование подтвердило возможность успешного применения бурового раствора на основе рапсового масла и метиловых эфиров жирных кислот в качестве эффективной альтернативы традиционным буровым растворам на минеральной основе. Такой раствор снижает риски экологической нагрузки. Результаты позволяют рассматривать разработанный буровой раствор как перспективный материал для дальнейшего внедрения в практику бурения нефтегазовых скважин.

Ключевые слова: буровой раствор, рапсовое масло, эфиры жирных кислот, реология

STUDY OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ORGANIC HYDROCARBON-BASED DRILLING FLUID

Chudinova I.V., Gilfanova A.F., Reshetnikova M.V.

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, e-mail: i_chudinova@ugrasu.ru

This article is devoted to the study of the technological parameters of drilling fluid based on rapeseed oil mixed with methyl esters of fatty acids as a solution for the initial opening of productive formations. The main objective of the study was to investigate the influence of the composition of the drilling fluid and its operating conditions on changes in technological parameters, to evaluate its effectiveness in preserving the initial characteristics of productive formations, and to assess the compliance of the proposed composition with environmental standards. Laboratory studies of the drilling fluid were carried out in accordance with GOST 33697-2015. During the study, the following parameters were evaluated: density, plastic viscosity, dynamic shear stress, static shear stress, filtration index, electrostability and sedimentation stability, and conclusions were made about the effectiveness of using a flushing fluid containing vegetable oil as a dispersed phase. The study confirmed the possibility of successfully using a drilling fluid based on rapeseed oil and methyl esters of fatty acids as an effective alternative to traditional mineral-based drilling fluids. Such a fluid reduces the risks of environmental impact. The results allow us to consider the developed drilling fluid as a promising material for further implementation in oil and gas well drilling practice.

Keywords: drilling fluid, rapeseed oil, fatty acid esters, rheology

Введение

Рост запасов углеводородов происходит преимущественно за счет месторождений с трудными условиями эксплуатации, характеризующихся небольшой толщиной продуктивной толщи, ограниченной проходимостью пласта и повышенным содержанием мелких глинистых минералов. Именно поэтому при проведении строительных работ по созданию скважин крайне важным аспектом выступает защита продуктивности пласта в прилегающем к забою районе, что главным образом определяется качеством первоначального этапа вскрытия пласта.

Чтобы избежать негативных последствий и снизить загрязнение областей вблизи пласта, важно комплексно подходить к выбору реагента, учитывая физико-геологическую природу породы, степень ее подверженности изменениям в ходе технологических воздействий и соблюдение баланса активности поверхностных слоев горных пород [1]. Основные факторы, определяющие масштаб загрязнённости области около пласта при первом вскрытии, включают давление столба бурового раствора относительно давления самого пласта, длительность его воздействия, состав и химические свой-

ства самого раствора. Если разница между давлением внутри ствола и пластовым давлением велика, возникает ситуация, при которой буровой раствор способен оказать значительное влияние на состояние пласта. Избыточное давление формирует защитный слой на стенках ствола и ограничивает распространение фильтрата далее вглубь пласта. Длительность периода нахождения повышенного давления влияет на площадь распространения загрязнённой зоны, вызывая накопление в ней частиц раствора и продуктов его фильтрации [2].

Использование раствора на углеводородной основе с заданными характеристиками обеспечивает минимальное влияние на природные свойства коллектора и полное удаление остатков раствора из призабойной зоны. Фильтрат бурового раствора на углеводородной основе обладает сильными ингибирующими свойствами, которые препятствуют набуханию глинистых частиц и способствуют сохранению исходных фильтрационно-емкостных параметров. Важнейшими требованиями к фильтрату являются сохранение гидрофобных характеристик породы-коллектора, низкий уровень межфазного натяжения на границах контакта с нефтью и отсутствие осадка при взаимодействии с пластовыми водами [3].

Поскольку большинство пород-коллекторов по своей природе гидрофильны, ключевым фактором становится регулирование характера смачивания посредством включения гидрофобизирующих компонентов в буровые растворы первичного вскрытия. Для изменения уровня смачиваемости применяются специальные добавки, такие как поверхностно-активные вещества (ПАВ), создающие гидрофобную пленку на поверхности пор, уменьшая тем самым межфазное натяжение и облегчая последующее извлечение фильтрата из пласта [4].

Однако при выборе бурового раствора необходимо учитывать несколько факторов: воздействие на окружающую среду, стоимость и технологические параметры. Выбор наиболее подходящего бурового раствора с учетом этих факторов определяет успех строительства скважины. В течение долгого времени в качестве основы для изготовления буровых растворов на углеводородной основе применяли дизельное топливо, что сопровождалось экологическими проблемами, обусловленными его токсичностью и неблагоприятным влиянием на окружающую среду. Сегодня актуальным направлением исследований является поиск

и разработка составов на основе органических углеводородов, способных уменьшить подобные негативные последствия [5; 6].

Использование углеводородных растворов ставит перед отраслью новую задачу – организацию утилизации отходов в соответствии с требованиями, чтобы предупредить возможное загрязнение окружающей среды и соблюдения установленные экологические нормативы. Исходя из этого, при разработке растворов на углеводородной основе необходимо учитывать тип используемого масла. В растворах на углеводородной основе наиболее часто применяются специализированные гидравлические масла, дизельное топливо, а также могут использоваться другие виды масел. Перед исследователями стоит задача найти компромиссное решение путем разработки оптимальных буровых растворов, которые снизят затраты на обращение с отходами бурения и негативное воздействие на окружающую среду, связанное с использованием традиционных буровых растворов на основе углеводородного сырья [7].

Область исследований по поиску альтернативы традиционным буровым растворам на углеводородной основе, отвечающим экологическим требованиям, не является новой. Чаще всего исследователи используют нетоксичные пищевые растительные масла, технические растительные масла в качестве дисперсионной среды при разработке и биоразлагаемые растворы на углеводородной основе. Наиболее популярными являются рапсовое масло, масло яatroфы, пальмовое масло, соевое масло, масло грецкого ореха, хлопковое масло и т. д. [8].

Целью данной работы являлось исследование применимости состава бурового раствора на основе рапсового масла в смеси с метиловыми эфирами жирных кислот для первичного вскрытия пласта. Буровой раствор такого типа может выполнять те же функции, что и буровые растворы на классических углеводородах, и в равной степени соответствовать стандартам HSE (здоровье, безопасность и окружающая среда), а также минимизировать воздействие бурового раствора на продуктивные горизонты и снизить риск загрязнения.

Материалы и методы исследования

При создании обратного бурового раствора основой служит комбинация рапсовых масел и метиловых соединений жирных кислот. Структуру смеси формирует специальный ингредиент – органобентонит

марки «Полиолеогель». Его задача заключается в стабилизации основной маслосодержащей фазы и повышении устойчивости эмульсии против расслоения. Дополнительная стабилизация обеспечивается специальным составом, включающим сложные производные жирных кислот таллового масла, заранее подготовленные путем предварительного растворения в соответствующем органическом растворителе.

В качестве реагента для активации эмульгатора за счет образования кальциевых мыл использовалась гашеная известь. В состав раствора вводился понизитель фильтрации, предназначенный для эффективного контроля потери жидкости в системах на нефтяной основе, в том числе на основе обратных эмульсий. В качестве дисперсной фазы использован водный раствор хлорида кальция. Добавление рассола в эмульсию приводит к увеличению реологических характеристик: чем выше концентрация водной фракции, тем выше становятся реологические показатели, что отрицательно сказывается на устойчивости эмульсионной системы. В качестве средства для кольматации выбран микрокальцит с определенным гранулометрическим составом, который предотвращает потери бурового раствора и закупоривает каналы в проницаемых пластах [9]. Состав кольматирующей смеси выбирается индивидуально, принимая во внимание геологические условия, такие как проницаемость пласта и диаметр поровых каналов.

Контроль технологических характеристик бурового раствора выполнялся в соответствии с нормами стандарта API с использованием следующего оборудования: плотность – рычажные весы FANN; пластическая вязкость, динамическое напряжение сдвига (ДНС), статическое напряжение сдвига (СНС) – ротационный 12-скоростной вискозиметр RheoMud-12SM с датчиком температуры; показатель фильтрации – фильтр-пресс FANN HPHT. Параметр кинематической вязкости дисперсионной среды определялся специальным вискозиметром, предназначенным для работы с непрозрачными жидкостями. Для установления температуры вспышки использовался открытый тигель, позволяющий воспроизвести условия, близкие к реальным условиям воспламенения раствора.

Результаты исследования и их обсуждение

При подборе дисперсионной среды необходимо знать ее физические параметры,

которые влияют на технологические параметры итогового раствора. В ходе исследования были измерены кинематическая вязкость рапсового масла и температура вспышки [10]. Кинематическая вязкость при 40°C составила 31 мм²/с, что может привести к росту величин сопротивления сдвигу. В целях снижения исходного значения кинематической вязкости дисперсионной среды использовали смесь рапсового масла с метиловыми эфирами жирных кислот, что позволило снизить показатель кинематической вязкости до 11 мм²/с при 40°C.

Готовая эмульсия должна обладать температурой вспышки минимум на 30°C выше, чем температура выходящего из скважины раствора. Измеренная температура вспышки конечной эмульсии оказалась значительно выше, чем у исходных углеводородных компонентов. Это объясняется объемным заполнением системы водной и твердой фазами, а также обработкой раствора специальными стабилизаторами, обладающими более высокой температурой вспышки [11]. Температура вспышки смеси рапсового масла с метиловыми эфирами жирных кислот, измеренная в открытом тигле, достигла 263 °C. Такая высокая температура позволяет безопасно применять данную основу на начальном этапе приготовления эмульсии и надежно обеспечить соблюдение противопожарных норм при выполнении работ.

Нормативные значения технологических параметров бурового раствора (табл.) определялись исходя из требований геолого-технических условий продуктивного пласта. Буровой раствор плотностью 1,2 г/см³ готовился в соответствии с заданной рецептурой, исследования технологических параметров проводились на основании рекомендаций ГОСТ 33697-2015 (ISO 10414-2:2011) «Растворы буровые на углеводородной основе. Контроль параметров в промысловых условиях». Технологические параметры бурового раствора измерялись как при стандартной температуре, так и при значениях, имитирующих пластовые условия, результаты измерений представлены в таблице.

Плотность приготовленного бурового раствора соответствует нормативным требованиям и составляет 1,2 г/см³. Значение пластической вязкости при температуре 22°C превышает необходимое значение, что может привести к росту затрат энергии на циркуляцию раствора, однако с ростом температуры значение снижается до рекомендованных.

Технологические параметры бурового раствора на основе рапсового масла

Показатель	Норма	Параметры		
Т, °С	50	22	50	90
Плотность, г/см ³ (при 22 град.)	1,2-1,3	1,2	-	-
ПВ, сП	< 49	75	61	48
ДНС, дПа	60-135	65	43	36
СНС 10с, дПа	55-130	66	67	63
СНС 10 мин., дПа	65-140	97	89	92
К тиксотропии	< 2	1,3	1,4	1,4
600/300 rpm		215/140	168/104	132/84
200/100 rpm		100/46	55/35	41/25
6/3 rpm		10/9	11/10	11/10
ВНСС, Па*с		35	31	24
ЭС, В	> 600	833	784	725
Показатель фильтрации, см ³ /30 мин.	< 4	-	-	3,5
Седиментационная стабильность	< 0,05	0,04		

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

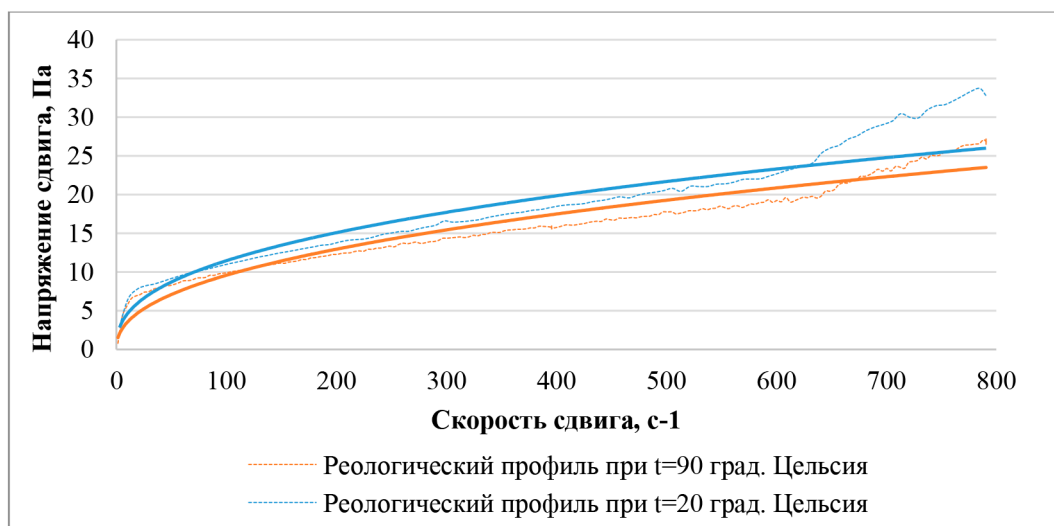


Рис. 1. Реологический профиль бурового раствора, полученный при температурах 22 и 90°C

Напротив, динамическая прочность на сдвиг значительно уменьшается при нагревании до температуры 90°C, выходя за рамки рекомендуемых норм. Это обстоятельство способно привести к недостаточному качеству удаления бурового шлама из интервала обсадной колонны, создавая риск снижения эффективности процесса бурения. Показатель фильтрации бурового раствора составляет 3,5 см³/30 мин. и обеспечивает минимальное попадание дисперсионной среды в призабойную зону скважины. Электростабильность бурового раствора составляет

725 В, при таком значении предотвращается фазовое обращение эмульсии.

Для изучения реологических характеристик бурового раствора авторы построили график зависимости напряжений сдвига от скоростей деформации, постепенно увеличивая скорость от нуля до 800 с⁻¹ (график кривой потока жидкости), основываясь на исследованиях [12-14]. Полученный реологический профиль раствора отображён на рисунке 1. При анализе зависимости скорости сдвига от напряжения видно, что кривая имеет гладкий характер без резких колебаний, что

подтверждает корректность эксперимента (отсутствуют значительные эффекты скольжения или разделение фаз). Важно отметить, что экспериментальная кривая не проходит через точку начала координат, демонстрируя отклонение вдоль оси напряжения сдвига. Это является признаком псевдопластического поведения раствора. Чтобы подобрать подходящую реологическую модель, полученные экспериментальные данные были обработаны методом наименьших квадратов согласно уравнению Гершеля – Балкли, что обеспечило высокое значение коэффициента корреляции, равное 0,99.

Одним из недостатков обратных эмульсий перед традиционными водными растворами является повышенная чувствительность их реологического профиля к температурным колебаниям. Этот эффект особенно выражен при эксплуатации горизонтальных скважин, характеризующихся высоким уровнем забойных температур и значительным градиентом нагрева от устья до забоя. Под воздействием повышенной температуры наблюдается стремительное падение показателя вязкости, уровня динамических напряжений сдвига и прочности структуры геля, что негативно сказывается на стабильности системы и ведёт к выпадению твёрдых частиц шлама и наполнителя. Обратная ситуация возникает при пониженной температуре внешней среды, вызывая чрезмерное загущение состава вплоть до полной потери подвижности, что существенно затрудняет прокачку раствора [15; 16]. Таким образом, важно обеспечить приемлемые реологические показатели бурового раствора даже

при высоких значениях забойных температур порядка 90 °С.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что величины пластической вязкости и динамического напряжения сдвига снижаются в пластовых условиях. Высокие значения пластической вязкости вызывают повышенные гидравлические сопротивления в циркуляционной системе скважины и повышенный износ насосного оборудования. Вместе с тем повышенная величина динамического напряжения сдвига может повлечь за собой значительное увеличение вязкости. Следовательно, снижение данных параметров способствует уменьшению энергопотребления на прокачку раствора. Впрочем, значения пластической вязкости и критического динамического напряжения обязаны оставаться на достаточном уровне, чтобы гарантировать эффективную очистку горизонтальных участков ствола от продуктов разрушения породы.

Оценить температурную стабильность реологических параметров бурового раствора, а именно изменение его вязкости и прочностных характеристик при изменении температуры, можно с помощью коэффициента температурного разжижения/загустевания [17; 18]. Например, для пластической вязкости коэффициент будет выглядеть следующим образом:

$$K = \text{ПВ}_{22^{\circ}\text{C}} / \text{ПВ}_{90^{\circ}\text{C}},$$

где $\text{ПВ}_{22^{\circ}\text{C}}$ – пластическая вязкость бурового раствора при 22°С, сП, $\text{ПВ}_{90^{\circ}\text{C}}$ – пластическая вязкость бурового раствора при 90°С, сП.

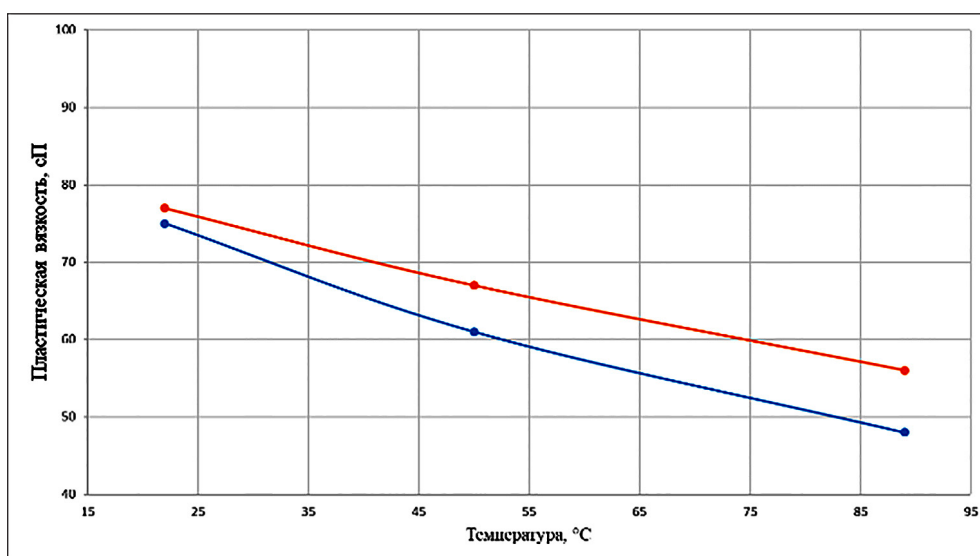


Рис. 2. График зависимости пластической вязкости от температуры

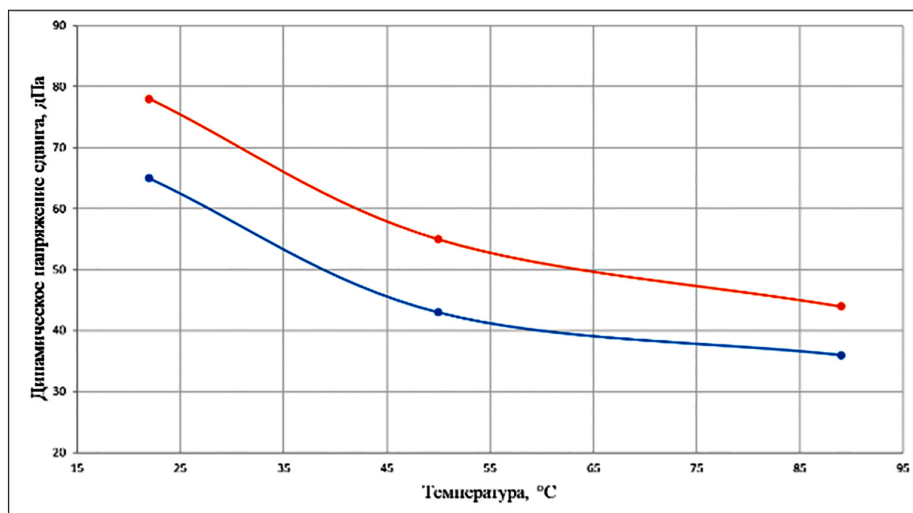


Рис. 3. График зависимости динамического напряжения сдвига от температуры

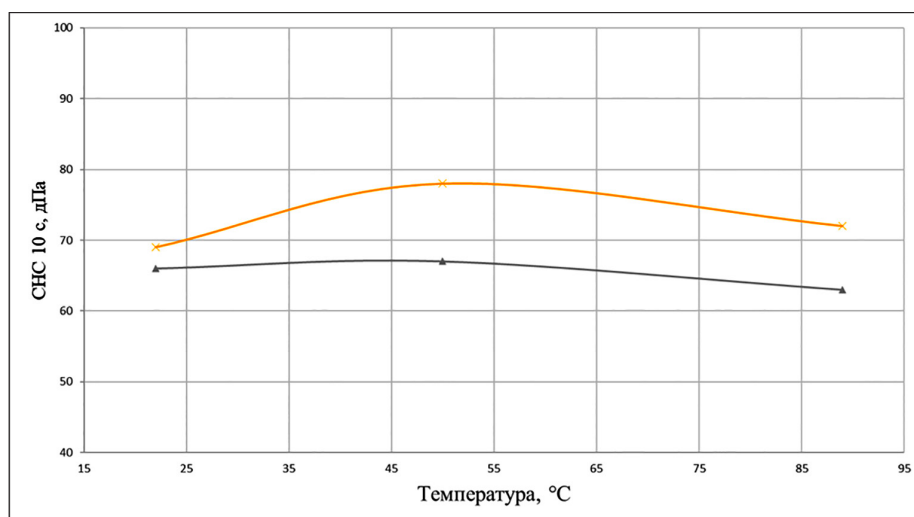


Рис. 4. График зависимости СНС после 10 с от температуры

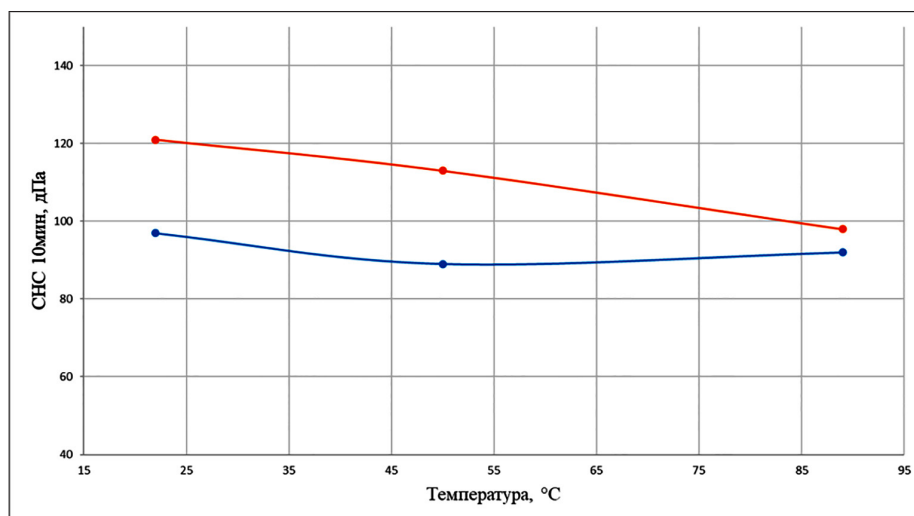


Рис. 5. График зависимости СНС после 10 мин. от температуры

Коэффициент температурной стабильности был рассчитан для таких технологических параметров бурового раствора, как пластическая вязкость, статическое напряжение сдвига после 10 секунд и 10 минут покоя, а также динамическое напряжение сдвига. На рисунках 2-5 графически представлены соотношения указанных параметров при 22 и 90°C.

Коэффициент температурной стабильности реологических параметров бурового раствора лежит в диапазоне 1,0-1,8, что обеспечивает достаточную сохранность промывочной способности бурового раствора и качественную очистку ствола скважины в пластовых условиях.

Заключение

Разработанная обратная эмульсия соответствует требованиям к буровым растворам: обеспечивает низкий показатель фильтрации (3,5 см³/30 мин.), высокую электростабильность (725 В) и удовлетворительную седиментационную стабильность. Реологические параметры демонстрируют температурную зависимость, но остаются в рабочем диапазоне даже при 90°C, с коэффициентами температурной стабильности 1,0-1,8, что обеспечивает качественную очистку ствола скважины. Полученные результаты исследования можно назвать удовлетворительными, буровой раствор на основе рапсового масла в смеси с метиловыми эфирами жирных кислот сочетает функциональность традиционных углеводородных систем со сниженным экологическим риском, соответствуя стандартам HSE, может быть рекомендован для проведения дальнейших исследований с целью его применения в качестве раствора первичного вскрытия продуктивных пластов.

Список литературы

1. Паникаровский Е.В., Паникаровский В.В., Закиров Н.Н., Листак М.В. Улучшение фильтрационно-емкостных свойств пласта после первичного вскрытия на Пунгинском ПХГ // Научный журнал Российского газового общества. 2023. № 2 (38). С. 82-88. DOI: 10.55557/2412-6497-2023-2-82-88. EDN: XOICTO.
2. Кузьменков С.Г., Королев М.И., Новиков М.В., Палыничина А.Н., Нанишвили О.А., Исаев В.И. Эффективность применения методов повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти на месторождениях Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // Георесурсы. 2023. Т. 25. № 3. С. 129-139. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-primeneniya-metodov-povysheniya-nefteotdachi-plastov-i-intensifikatsii-dobychi-nefti-na-mestorozhdeniyah-hanty> (дата обращения: 30.05.2025). DOI: 10.18599/grs.2023.3.16. EDN: WWWQUE.
3. Ташкевич И.Д., Вахромеев А.Г., Сверкунов С.А. Обоснование типов промывочных жидкостей для первичного вскрытия терригенных коллекторов углеводородов (юг Сибирской платформы) // Науки о Земле и недропользование. 2020. Т. 43. № 1 (70). С. 77-87. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-tipov-promyvочnyh-zhidkostey-dlya-pervichnogo-vskrytiya-terrigennyh-kollektorov-uglevodorodov-yug-sibirskoy-platformy> (дата обращения: 30.05.2025). DOI: 10.21285/2686-9993-2020-43-1-77-87. EDN: VRTQLN.
4. Нуцкова М.В., Сидоров Д.А., Тсикплону Д.Э., Сергеев Г.М., Васильев Н.И. Исследования буровых растворов на углеводородной основе для первичного вскрытия продуктивных пластов // Недропользование. 2019. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovaniya-burovyh-rastvorov-na-uglevodorodnoy-osnove-dlya-pervichnogo-vskrytiya-produktivnyh-plastov> (дата обращения: 30.05.2025). DOI: 10.15593/2224-9923/2019.2.4.
5. Lysakova E.I., Matveev A.V., Skorobogatova A.D., Nevrov A.L., Minakov A.V. Study of rheology and micro-rheology of emulsion drilling fluid based on technical plant oils. J. Sib. Fed. Univ. Chem.. 2024. 17 (1). 105–115. URL: <https://elibrary.sfu-kras.ru/handle/2311/152726> (дата обращения: 30.05.2025). EDN: IURBPU.
6. Лысакова Е.И., Жигарев В.А., Скоробогатова А.Д., Минаков А.В. Исследование коллоидной устойчивости и реологических свойств инвертной эмульсии с растительным маслом в качестве основы для бурового раствора // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2022. № 15(4). С. 529–538. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-kolloidnoy-ustoychivosti-i-reologicheskikh-svoystv-invertnoy-emulsii-s-rastitelnym-maslom-v-kachestve-osnovy-dlya> (дата обращения: 30.05.2025). DOI: 10.17516/1998-2836-0315.
7. Лаврентиади Ю.С., Леушева Е.Л. Повышение экологичности технологических жидкостей, применяемых для бурения скважин // Недропользование. 2023. Т. 23. № 1. С. 32–43. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-ekologichnosti-tehnologicheskikh-zhidkostey-pri-bureniya-skvazhin> (дата обращения: 30.05.2025). DOI: 10.15593/2712-8008/2023.2.5.
8. Некрасова И.Л. Аспекты экологической и промышленной безопасности применения технологических жидкостей на неводной основе в процессах строительства и освоения скважин // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2018. Т. 18. № 1. С. 41–52. URL: <https://ered.pstu.ru/index.php/geo/article/view/1202/636> (дата обращения: 30.05.2025). DOI: 10.15593/2224-9923/2018.3.4.
9. Запечалов М.В., Сергеев Н.С., Редеев Г.В. Применение рапсового масла в качестве биодизельного топлива // Вестник ОмГАУ. 2021. № 4 (44). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-rapsovogo-masla-v-kachestve-biodizelnogo-topliva> (дата обращения: 30.05.2025). DOI: 10.48136/2222-0364_2021_4_198.
10. Будовская М.Е., Двойников М.В., Блинов П.А., Камбулов Е.Ю., Минибаев В.В. К вопросу формирования кольматационного экрана при бурении скважин с применением бурового раствора на углеводородной основе в условиях месторождений Восточной Сибири // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2022. № 3 (351). С. 29-34. DOI: 10.33285/0130-3872-2022-3(351)-29-34. EDN: YNAEJR.
11. Тирон Д.В. Совершенствование технологии эмульсионных растворов для бурения скважин в условиях повышенных забойных температур: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург. 2017. 20 с.
12. Пилипенко Т.В., Астафьева В.В., Степанова Н.Ю. Изучение качественных характеристик растительных масел различными методами // Известия СПбГАУ. 2015. № 39. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-kachestvennykh-harakteristik-rastitelnykh-masel-razlichnymi-metodami> (дата обращения: 30.05.2025).
13. Табатабаи Моради С.Ш. Вероятностное исследование оптимизации промывки скважины // Записки Горного института. 2022. Т. 258. С. 956-963. URL: https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/15779?setLocale=ru_RU (дата обращения: 30.05.2025). DOI: 10.31897/PMI.2022.67.

14. Парфирьев В.А., Ваганов Ю.В., Закиров Н.Н. Инвертно-эмульсионные растворы для вскрытия хамакинского горизонта Восточно-Алинского месторождения // Известия вузов. Нефть и газ. 2020. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/invertno-emulsionnye-rastvory-dlya-vskrytiya-hamakinskogo-gorizonta-vostochno-alinskogo-mestorozhdeniya> (дата обращения: 30.05.2025). DOI: 10.31660/0445-0108-2020-3-44-53.

15. Хвоцин П.А., Некрасова И.Л., Гаршина О.В., Конесев Г.В. Утяжеленный инвертный эмульсионный раствор с регулируемым реологическим профилем для строительства горизонтальных скважин // Нефтегазовое дело. 2015. Т. 13. № 1. С. 35-44. URL: https://ngdelo.ru/files/old_ngdelo/2015/1/ngdelo-1-2015-p35-44.pdf (дата обращения: 30.05.2025). EDN: VEDWHH.

16. Хвоцин П.А. Исследование и разработка инвертного эмульсионного раствора на основе термопластичной

композиции для промывки скважин в сложных условиях бурения: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Уфа, 2016. 24 с.

17. Уляшева Н.М., Леушева Е.Л., Галишин Р.Н. Разработка композиции бурового раствора для проводки наклонно-направленного ствола скважины с учетом реологических параметров жидкости // Записки Горного института. 2020. Т. 244. С. 454-461. URL: https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/13301?setLocale=ru_RU (дата обращения: 30.05.2025). DOI: 10.31897/PMI.2020.4.8.

18. Дуркин В.В., Уляшева В.М., Пономарев В.В. Влияние температуры на реологические параметры жидкостей для первичного вскрытия продуктивного пласта и заканчивания скважин // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2022. № 7 (127). С. 24-29. URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/nefteservis/743160-vliyanie-temperatury-na-reologicheskie-parametry-zhidkostey-dlya-pervichno-go-vskrytiya-produktivnog/> (дата обращения: 30.05.2025). EDN: AZNYZE.