

ВЕСТНИК СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ М.К. АММОСОВА.
VESTNIK OF NORTH-EASTERN FEDERAL UNIVERSITY.
СЕРИЯ “НАУКИ О ЗЕМЛЕ. EARTH SCIENCES”

Сетевое научное периодическое издание
Издается с 2016 года
Издание выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»

№ 2 (38) 2025

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Главный редактор
А.Н. Николаев, д. б. н.

Заместитель главного редактора
Е.Э. Соловьев, к. г.-м. н.
Выпускающий редактор
С.Н. Левина, к.г.н.

Члены редакционной коллегии:

Верчеба А. А., доктор геолого-минералогических наук; Витченко А. Н., доктор географических наук; Данилов Ю. Г. кандидат географических наук; Лопух П. С., доктор географических наук; Мартынов В. Л., доктор географических наук; Михно В. Б., доктор географических наук; Нестеров Ю. А., кандидат географических наук; Никифорова З. С., доктор геолого-минералогических наук; Носонов А. М., доктор географических наук; Округин А. В., доктор геолого-минералогических наук; Полуфунтикова Л. И., кандидат геолого-минералогических наук; Присяжный М. Ю., доктор географических наук; Саввинова А. Н., кандидат географических наук; Семенов Ю. М., доктор географических наук; Скоринцева И. Б., доктор географических наук; Тесленок С. А., кандидат географических наук; Толстов А. В., доктор геолого-минералогических наук; Фридовский В. Ю., доктор геолого-минералогических наук; Часовский В. И., доктор географических наук.

Адрес учредителя и издателя: 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58

Адрес редакции: 677010, г. Якутск, ул. Кулаковского, 46, каб. 307
Тел./факс: +7 (4112) 36-15-18. e-mail: vestnik_geo@mail.ru. <https://vfuzeml.elpub.ru/jour/index>
Северо-Восточный федеральный университет
<http://s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/unir/vestnik-svfu/>

VESTNIK OF NORTH-EASTERN FEDERAL UNIVERSITY.
«EARTH SCIENCES»

Network scientific periodical

Published since 2016

The frequency of publication is 4 times a year

The founder and publisher is Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“The M. K. Ammosov North-Eastern Federal University”

№ 2 (38) 2025

EDITORIAL BOARD OF THE SERIES

Editor-in-Chief

A. N. Nikovaev, Doctor of Biological Sciences

Deputy Editor-in-Chief

E. E. Solovyov, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

S.N. Levina, Candidate of Geographical Sciences

Members of the Editorial Board of the Series:

A. A. Vercheba, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; *Vitchenko A.N.*, Doctor of Geographical Sciences; *Y. G. Danilov*, Candidate of Geographical Sciences; *Lopuh P. C.*, Doctor of Geographical Sciences; *V. L. Martynov*, Doctor of Geographical Sciences; *V. B. Mikhno*, Doctor of Geographical Sciences; *Y. A. Nesterov*, Candidate of Geographical Sciences; *Z. S. Nikiforova*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; *A. M. Nosonov*, Doctor of Geographical Sciences; *A. V. Okrugin*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; *L. I. Polufuntikova*, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences; *M. Y. Prisyazny*, Doctor of Geographical Sciences; *A. N. Savvinova*, Candidate of Geographical Sciences; *Y. M. Semenov*, Doctor of Geographical Sciences; *I.B. Skorintseva*, Doctor of Geographical Sciences; *S. A. Teslenok*, Candidate of Geographical Sciences; *A. V. Tolstov*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; *V. Y. Fridovsky*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; *V. I. Chasovsky*, Doctor of Geographical Sciences.

Founder and publisher address: The North-Eastern Federal University, Belinsky str, 58, Yakutsk, 677000.

Editors Office address: The North-Eastern Federal University, Kulakovskogo st, 46, room 307, Yakutsk, 677010

Telephone/Fax: +7 (4112) 36-15-18. e-mail: vestnik_geo@mail.ru. <https://vfuzeml.elpub.ru/jour/index>

<http://s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/unir/vestnik-svfu/>

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

Алванян А.К., Алванян К.А., Тагильцев С.Н.

Физические свойства и качественная характеристика песков месторождения
«Володин камень» 5

Гайнанов Ш.Х.

Инженерно-геологическая типизация пород красноцветной терригенной формации..... 15

Садиров М.Ш., Туробов Э.Ш. Педогенные карбонаты в автоморфных почвах

подтаежной зоны юго-восточной части Западной Сибири..... 27

Свинобоев А.А., Сивцев А.И., Карпова М.И. Оценка запасов углеводородов

Буягинской площади 40

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

Богдан Е. А., Белан Л. Н., Бахтиярова Р. С., Витценко А. Ю., Туктарова И. О., Гумеров Р. Р.

Определение запаса древостоя с использованием спутниковых данных ALOS Palsar
на примере Геопарка «Торатау»..... 55

Большаник П.В., Кузнецова С.Б.

Редкие растения тайги Ханты-Мансийского округа – Югры как отражение истории развития
природы территории 68

Захаров М. И., Федорова С. В.

Постантропогенная динамика селитебных ландшафтов юго-восточной Якутии
на примере села Усть-Юдома..... 81

CONTENT

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS, MINERALOGY

Alvanian A.K., Alvanian K.A., Tagiltsev S.N.

Physical properties and qualitative characteristics of sands from the Volodin Kamen deposit..... 5

Gaynanov Sh. H.

Engineering-geological typification of rocks of the red-colored terrigenous formation 15

Sadirov M.Sh., Turobov E.Sh.

Pedogenic carbonates in automorphic soils of the subtaiga zone of the southeastern part
of Western Siberia 27

Svinoboev A.A. I, Sivtsev A.I., Karpova M.I.

Assessment of hydrocarbon reserves of the Buyaginskaya area 40

PHYSICAL GEOGRAPHY AND BIOGEOGRAPHY, SOIL GEOGRAPHY, AND LANDSCAPE GEOCHEMISTRY

Bogdan E. A., Belan L. N., Bakhtiyarova R. S., Vitsenko A. Y., Gumerov R. R.

Determination of the stand stock using ALOS Palsar satellite data:
the case of Toratau Geopark..... 55

Bolshanik P.V., Kuznetsova S.B.

Rare plants of the taiga of Khanty-Mansiysk okrug – Yugra as a reflection history
of the territory's natural development..... 68

Zakharov M. I., Fedorova S. V.

Post-anthropogenic dynamics of rural landscapes of southeastern Yakutia
in the case of Ust-Yudoma village 81

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 553:04

<https://doi.org/10.25587/2587-8751-2025-1-5-14>

Научная оригинальная статья

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КАЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ВОЛОДИН КАМЕНЬ»

А.К. Алванян^{1*}, К.А. Алванян¹, С.Н. Тагильцев²¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, Россия² Уральский государственный горный университет,
Екатеринбург, Россия

*alv-anton@yandex.ru

Аннотация

В статье приведены отрасли промышленности, где песок является незаменимым сырьем. Приведены сведения о месторождениях в регионе. Целью работы является определение физических свойств и качественной характеристики полезной толщи. Подробно рассмотрены геологическое строение и гидрогеологические условия месторождения «Володин камень». Произведена оценка сложности геологического строения карьерного поля. Описана полезная залежь, вскрышные и подстилающие породы. Качественная характеристика полезного ископаемого дана по результатам геологоразведочных работ. Оценка качества песка выполнена по требованиям ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ». Выполнены и приведены результаты определений гранулометрического состава, истинной плотности, коэффициента фильтрации, угла естественного откоса, потенциальной реакционной способности. По размерам, невыдержанной мощности полезной толщи и качеству сырья, месторождение отнесено ко 2 группе. Проведена радиационно-гигиеническая оценка с целью определения пригодности природного песка для промышленного освоения. Был проведен непрерывный гамма-каротаж скважин с точечной регистрацией (через 1 м) с помощью прибора СРП-68-01 № 373. Радиоактивность пород месторождения «Володин камень» изменяется от 5,0 до 7,0 мкР/час (норма 48 мкР/час), что значительно меньше требованиям по НРБ 99/2009 СанПин 2.6.1.2523-09, следовательно, относится к 1 классу строительных материалов, и они могут применяться в строительстве без ограничений. По месторождению качество природного песка удовлетворяет требованиям ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ» и он может использоваться для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог.

Ключевые слова: геологоразведка, полезные ископаемые, месторождение, песок, физические свойства, модуль крупности, угол естественного откоса, коэффициент фильтрации, радиационно-гигиеническая оценка, Пермский край

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки

Для цитирования: Алванян А.К., Алванян К.А., Тагильцев С.Н. Физические свойства и качественная характеристика песков месторождения «Володин камень». *Вестник СВФУ*. 2025; (2):5-14. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-5-14

PHYSICAL PROPERTIES AND QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF SANDS FROM THE VOLODIN KAMEN DEPOSIT

Anton K. Alvanian^{1*}, Karine A. Alvanian¹, Sergey N. Tagiltsev²

¹Perm State National Research University, Perm, Russia

²Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

*alv-anton@yandex.ru

Abstract

The article presents the industries where sand is an indispensable raw material. Information about the deposits in the region is provided. The purpose of the work is to determine the physical properties and qualitative characteristics of the useful strata. The geological structure and hydrogeological conditions of the Volodin Kamen deposit are considered in detail. The complexity of the geological structure of the quarry field is assessed. The useful deposit, overburden and underlying rocks are described. The qualitative characteristics of the mineral are given based on the results of geological exploration. The quality of sand is assessed according to the requirements of GOST 8736-2014 "Sand for Construction Work". The results of determining the granulometric composition, true density, filtration coefficient, angle of repose, and potential reactivity are performed and presented. According to the size, unsustained thickness of the useful strata and the quality of raw materials, the deposit is assigned to group 2. A radiation and hygienic assessment was carried out to determine the suitability of natural sand for industrial development. Continuous gamma logging of wells with point registration (every 1 m) was carried out using the SRP-68-01 No. 373 device. The radioactivity of the rocks of the Volodin Kamen deposit varies from 5.0 to 7.0 $\mu\text{R}/\text{hour}$ (the norm is 48 $\mu\text{R}/\text{hour}$), which is significantly less than the requirements of NRB 99/2009 SanPiN 2.6.1.2523-09, therefore it belongs to class 1 of building materials, and they can be used in construction without restrictions. According to the deposit, the quality of natural sand meets the requirements of GOST 8736-2014 "Sand for construction work" and it can be used for the construction of foundations and coatings of highways.

Keywords: geological exploration, minerals, deposit, sand, physical properties, fineness modulus, angle of repose, filtration coefficient, Radiation and hygienic assessment, Perm region

Funding. No funding was received for writing this manuscript

For citation: Alvanian A.K., Alvanian K.A., Tagiltsev S.N. Physical properties and qualitative characteristics of sands from the Volodin Kamen deposit. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*. 2025; (2):5–14 (in Russian) DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-5-14

Введение

Месторождения песка служат источником сырья в разных отраслях промышленности. Песок является одним из главных материалов в строительной и промышленной индустрии: входит в состав бетона, железобетона, асфальтобетона, используется для приготовления раствора для кирпичной кладки, при отделочных работах, используется для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог, является неотъемлемой частью стекольной промышленности. Определение качества сырья, физических свойств является актуальной задачей, так как потребность в материале только растет.

Генетически пески могут быть различного генезиса. Аллювиальные пески являются наиболее однородными и выдержанными по качеству [1].

Согласно «Справке...» [2] в Пермском крае числятся 78 месторождений строительных песков. Добыча в 2019 г. производилась на 18 месторождениях и составила 1961 тыс.м³.

Месторождение Володин камень находится в Усольском районе Пермского края, на правом берегу р. Яйвы, в 10 км южнее г. Березники, в 500 м юго-западнее д. Володин Камень, в 100 м восточнее р. Волим.

Материалы и методы

Для достижения обозначенной цели работы был проведен анализ геолого-разведочных работ и дана оценка качества песка согласно ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ» [3].

Обсуждение результатов

Геологическое строение месторождения. В геологическом строении района принимают участие отложения пермской и четвертичной систем (рисунок 1).



Рис. 1. Карта четвертичных отложений

(выкопировка с карты кайнозойских отложений масштаба 1:200000. М.И. Денисов, 1980 г.)

Fig. 1. Map of Quaternary deposits

(Extract from the map of Cenozoic deposits at a scale of 1:200000. M.I. Denisov, 1980)

Пермская система. Отложения пермской системы представлены уфимским ярусом – P_{1u} , соликамским и шешминским горизонтами. *Солика́мский горизонт* – P_{1sl} . Развиг к северу и востоку от территории месторождения. Нижняя часть соликамского горизонта сложена преимущественно глинистыми сульфатизированными породами, верхняя – преимущественно карбонатными. *Шешминский горизонт* – $P_{1šš}$. Отложения шешминского горизонта характеризуются большой пестротой литологического состава и фациальной изменчивостью по площади и в вертикальном направлении. Наряду с преимущественным развитием песчано-глинистых красноцветных отложений присутствуют серые известковистые глины и песчаники, пестрые и серые мергели, серые известняки, а также конгломераты.

Четвертичная система Q. Отложения четвертичного возраста представлены различными генетическими типами осадков. *Среднечетвертичные отложения.* В разрезе среднечетвертичных отложений выделяются: днепровский, одинцовский и московский горизонты. К днепровскому горизонту относятся отложения максимального (днепровского) оледенения,

представленные флювиогляциальными отложениями. Флювиогляциальные отложения наиболее широко развиты в западной площади, покрывая сплошным плащом водораздельные пространства и склоны долин. Пески почти чисто кварцевые, что исключает возможность их происхождения за счет эрозирования и переноса полимиктовых песчаников перми. Мощность флювиогляциальных отложений колеблется от 3 до 7 м, достигая на отдельных участках 16 м. Литологически отложения представлены преимущественно кварцевыми песками мелко- и среднезернистыми, часто глинистыми, светло желтого, буровато-желтого и, реже, серого цветов. Пески хорошо отсортированы, зерна окатаны. К одицовскому, московскому горизонтам отнесен аллювий третьей надпойменной террасы. В долине р. Камы третья надпойменная терраса зачастую эрозирована и не несет аллювия. В основании слоя обычно лежат галечники, состоящие из гальки кварцита, кварцито-песчаников. Выше залегают глины бурые, желто-серые с частыми прослойками и линзами бурого и серого, мелкозернистого кварцевого песка. Мощность аллювия до 12 м.

Верхнечетвертичные отложения. К миккулинскому и ханмейскому горизонтам отнесены отложения второй надпойменной террасы. В восточной части района терраса как правило аккумулятивная. Верхние террасы слагают глины лёссовидного облика (суглинки), мелко – тонкозернистые пески значительной мощности. Ниже слой синевато-серых глин и песков с галькой кварца, кремня и кварцита. Самая нижняя часть террасы сложена гравием, галькой и песком с валунами. Мощность отложений колеблется от 11,0 до 22,0 м.

Делювиально-субазральные отложения ханмейского и полярно-уральского горизонта представлены алевритистыми и песчанистыми, лёссовидными, красно-коричневыми, очень плотными глинами и суглинками. На водораздельных пространствах этот горизонт подстилается желтовато-серыми и желтовато-бурыми глинами, часто с галькой кварца и кремня в нижней части. Эти глины отнесены к покровным отложениям московского горизонта. Мощность отложений от 1 до 13 м.

Аллювиальные отложения I надпойменной террасы, каргинского, полярного горизонта. Осадки пойменной фации, слагающие верхнюю часть террасы, имеют небольшую мощность (до 3-4 м) и представлены обычно песчанистыми глинами или глинистыми песками. В глинах наблюдаются песчанистые прослойки, а в песках глинистые. Мощность отложений I надпойменной террасы изменяется в широких пределах от 1-2 до 15-20 м в долине р. Камы.

Верхнечетвертичные, современные отложения. Эоловые отложения этого возраста распространены, в основном, в северной и в центральной части района и представляют собой продукт переработки флювиогляциальных и, реже, аллювиальных отложений. Они протягиваются полосой вдоль р. Камы и Вишеры. Мощность эоловых отложений 0,5-5 м.

Голоцен. Современные отложения. Аллювий пойменных террас и русел. Отложения, слагающие высокую (4-х метровую) и низкую (1,5-метровую) поймы, являются наиболее широко распространенными аллювиальными отложениями района. Для высокой поймы характерно преобладание глинистых осадков.

На поверхности высокой поймы в большинстве случаев имеется почвенный горизонт. Она часто зарастает лесостепной растительностью. Аллювий отложений низкой поймы и русла более выдержан и представлен песками, реже галечниками. Мощность современных аллювиальных отложений изменяется от нескольких метров в бассейнах малых рек до 20 м в бассейне р. Камы.

Гидрогеологические условия месторождения. По схеме гидрогеологического районирования площадь месторождения находится в области трещинных и карстовых вод Соликамской впадины, входящей в провинцию подземных вод Предуралья. Распространены грунтовые воды аллювиальных отложений [4].

Гидрогеологическое строение месторождения простое. Здесь выделяются два типа вод: поверхностные и подземные. Поверхностные воды представлены рекой Яйвой, которая протекает

с северной стороны месторождения. С западной стороны месторождения низкая заболоченная пойма р. Волим. Питаются мелкие реки и болота за счет талых вод и атмосферных осадков. Уровень воды в них выше, чем в р. Каме.

Месторождение обводнено в разной степени. Грунтовые воды аллювия в процессе бурения геологоразведочных скважин в зависимости от геоморфологических условий вскрыты на глубинах 0,0 – 3,2 м.

Гидрогеологические исследования на месторождении заключались в наблюдениях за уровнем грунтовых вод в разведочных скважинах. Подземные воды встречены во всех скважинах, их питание идет за счет атмосферных осадков, многочисленных озер и вод рек Камы, Яйвы, Волим.

Полученные результаты были использованы для построения на геологических разрезах прогнозного уровня грунтовых вод по всему месторождению. Сопоставляя высотные отметки рельефа с положением зеркала грунтовых вод, видно, что полезная толща обводнена и является водовмещающей аллювиального водоносного горизонта, приуроченного к пойме рек Камы и Яйвы. Водоупором данного горизонта служат подстилающие шешминские аргиллиты.

Оценка сложности геологического строения карьерного поля. Месторождение представляет собой залежь песка изометричной формы. Геоморфологически залежь приурочена к I надпойменной террасе р. Яйвы с абсолютными отметками +109-111 м.

В геологическом строении месторождения принимают участие аллювий I надпойменной террасы р. Яйвы.

Площадь месторождения вытянута с юго-запада на северо-восток, длина от 720 м до 970 м, в среднем 850 м; ширина от 420 до 740 м, в среднем 600 м.

Полезная толща представлена песком. Песок коричневый, серовато-коричневый, мелко-, тонкозернистый, слабо глинистый, с глубиной отмечается присутствие единичной гальки. Мощность полезной толщи изменяется от 7,7 до 16,2 м, в среднем составляет 10,3 м.

Вскрышные породы представлены почвенно-растительным слоем, встречается торф темно-коричневого, черного цвета. Мощность вскрышных пород от 0,1 до 1,5 м, в среднем 0,5 м.

Подстилают полезную толщу супесь и суглинки коричневого, серого цвета, плотные, глина коричневая, вязкая. Вскрытая мощность от 0,1 до 2,1 м. В отдельных скважинах под слоем песка встречены глинистые песчано-гравийные отложения в виде отдельных линз, незначительной мощностью от 0,2 м до 0,8 м. Пример литологического разреза приведен по линии 4 и представлен на рисунке 2.

Месторождение обводнено в разной степени. Грунтовые воды встречены во всех скважинах на глубине от 0,0 м до 3,2 м.

Качественная характеристика полезного ископаемого дается по результатам лабораторных испытаний проб песка, выполненных лабораторией кафедры инженерной геологии и охраны недр ФГАОУ ПГНИУ.

По размерам, невыдержанной мощности полезной толщи и качеству сырья, месторождение в соответствии с «Методическими рекомендациями по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. М., 2007» [5] отнесено ко 2 группе.

Характеристика полезного ископаемого. Качественная характеристика дается по результатам геологоразведочных работ, проведенных на месторождении в 2023 г [6]. Оценка качества песка выполнена на основании технического задания по основным оценочным параметрам.

Гранулометрический состав. Процент содержания гравия в песке незначительный, в среднем по месторождению +5 мм – 0,1 %, +10 мм – 0,0 % (таблица 1). Содержание пылеватых и глинистых частиц в песке по скважинам колеблется в пределах от 1,2 до 7,7 %. В среднем по месторождению содержание пылеватых и глинистых примесей составляет 3,6 % (таблица 2).

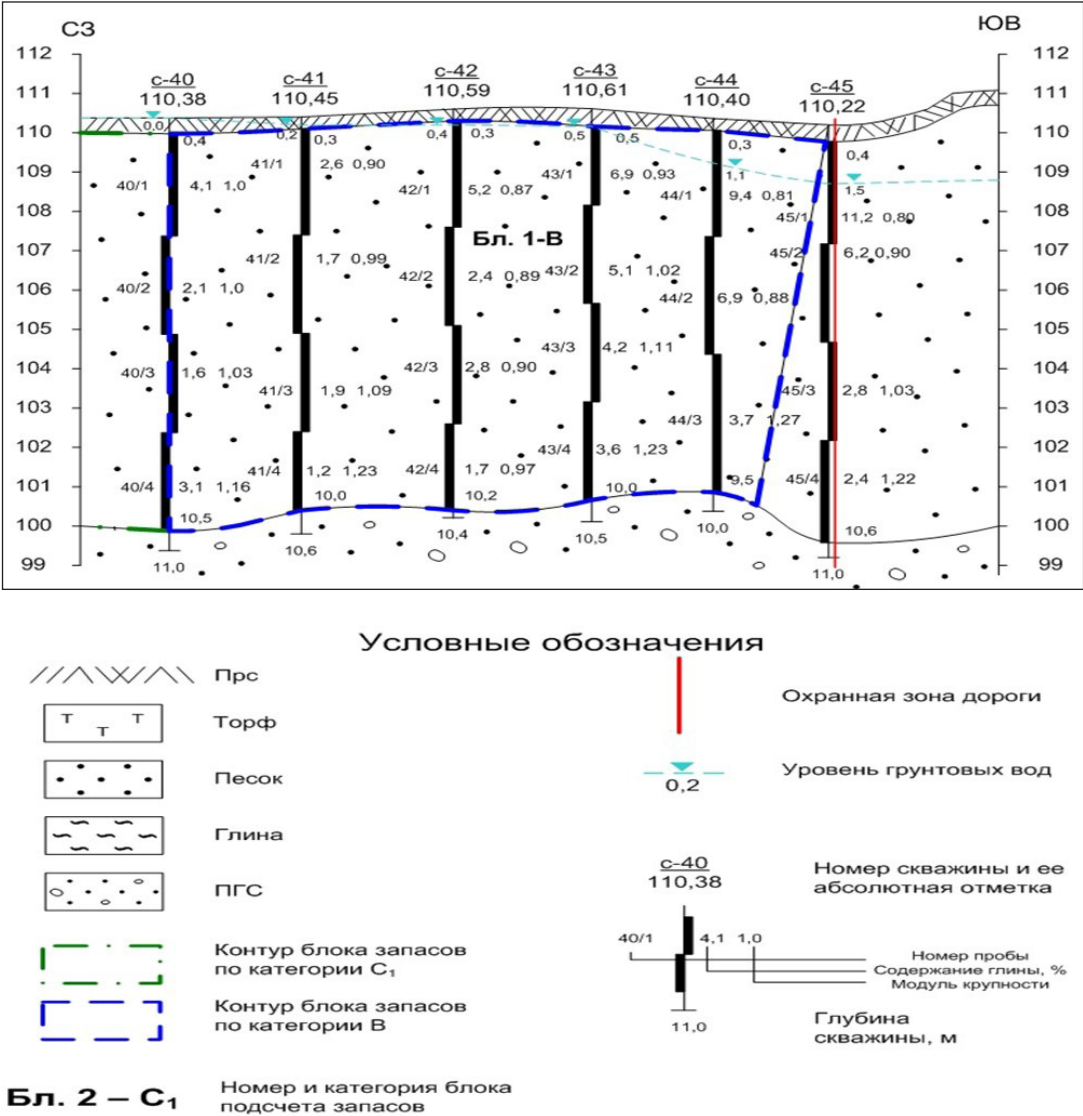


Рис. 2. Литологический разрез месторождения по линии 4 (по А.К. Алванян)

Fig. 2. Lithological section of the deposit along line 4 (according to A.K. Alvanyan)

Таблица 1

Среднее содержание гравия в песчаном слое фракций +5 мм, +10 мм по месторождению

Table 1

Average gravel content in the sand layer of fractions +5 mm, +10 mm by deposit

Номер блока	В том числе по фракциям, от – до/среднее			
	кол-во проб	+10 мм	кол-во проб	+5 мм
1-В	10	0,0-0,5/0,0	36	0,0-0,2/0,1
2-С ₁	3	0,0-0,5/0,0	29	0,0-0,4/0,1
по месторождению В+С ₁	13	0,0-0,5/0,0	65	0,0-0,4/0,1

Таблица 2

Среднее содержание песка и глинистых примесей по месторождению

Table 2

Average content of sand and clay impurities in the deposit

Номер блока	Средневзвешенное содержание, %			
	песок		глина	
	от – до	среднее	от – до	среднее
1-В	92,3-98,8	96,0	1,2-7,7	4,0
2-С₁	93,5-97,8	96,7	1,2-6,5	3,3
по месторождению В+С₁	92,3-98,8	96,4	1,2-7,7	3,6

По зерновому составу – модулю крупности и полному остатку на сите 0,63 мм – пески природного слоя, согласно требованиям ГОСТ 8736-2014, относятся к группе очень мелких и тонких песков II класса. Модуль крупности изменяется от 0,82 – 1,27, средний 1,03; полный остаток на сите 0,63 мм – от 0,4 до 3,0, средний – 1,3 %. Результаты гранулометрического анализа показывают, что основным порообразующим зерном является фракция 0,16 мм – от 72,6 % до 93,1 %, среднее 82,4 % (таблица 3).

Плотность истинная 2,64-2,67 г/см³, в среднем 2,65 г/см³.

Коэффициент фильтрации песков в рыхлом состоянии 9,1 – 14,2 м/сутки, в уплотненном состоянии 0,0921- 0,7660 м/сутки.

Угол естественного откоса песков в сухом состоянии от 28°38' до 34°33', в водонасыщенном от 20°22' до 32°39'.

Потенциальная реакционная способность песка определена химическим методом. Исследованиями установлено, что пески нереакционноспособные, содержание растворимого кремнезема от 8,0 до 14,5 ммоль/л, в среднем 11,4 ммоль/л.

По содержанию органических примесей окраска природных песков месторождения светлее и темнее эталона. Органические примеси, придающие раствору гидроксида натрия окраску, соответствующую цвету эталона или темнее, этого цвета – по ГОСТ использование песка, не отвечающего этому требованию, допускается только после получения положительных результатов испытаний песка в бетоне или растворе на характеристики долговечности.

По петрографическому составу пески кварцево-кремнистые.

По месторождению качество природного песка удовлетворяет требованиям ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ» и он может использоваться для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог.

Радиационно-гигиеническая оценка проведена в ноябре-декабре 2016 г. с целью определения пригодности природного песка для промышленного освоения. Был проведен непрерывный гамма-каротаж скважин с точечной регистрацией (через 1 м) с помощью прибора СРП-68-01 № 373, имеющего сертификат о калибровке.

Каротажные работы проведены в 20 скважинах. Уровень радиологического фона для песка 5,0-8,0 мкр/ч. При прослушивании керна в скважинах радиоактивных аномалий не выявлено. Проведенными исследованиями установлено, что природные пески характеризуются низкой интенсивностью излучения. Радиоактивность песков изменяется от 5,0 до 7,0 мкр/час (норма 48 мкр/час), что значительно меньше требованиям по НРБ 99/2009 СанПин 2.6.1.2523-09 [7]. Радиоактивность пород месторождения «Володин камень» относится к I классу строительных материалов и они могут применяться в строительстве без ограничений.

Таблица 3

Гранулометрический состав и физические свойства природного песка по месторождению

Table 3

Granulometric composition and physical properties of natural sand by deposit

Требования к зерновому составу Наименование месторождения, проявления	Гранулометрический состав песков, % Полные остатки на ситах с размерами отверстий в мм от – до среди.					Прочод через сито 0,16 мм, от – до сред.	Содерж. пылеватых и гли- нистых частиц, % от – до средн.	Модуль крупности, от – до средн.	Насыпная плотность, кг/м³	Плотность истинная, г/см³	Содерж. аморфных раз- новидностей диоксида кремня, м.моль/л	Коэффициент фильтра- ции, м/сут.	Угол естественного откоса	
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16								в сухом состо- янии	во влажном со- стоянии
ГОСТ 8736-2014														
- очень мелкий			до 10			20	5	1,0-1,5		2,0-2,8				
- тонкий			не норм.			не норм.	10	0,7-1,0						
Бл. 1-В	0,0-0,2	0,0-0,4	0,4-2,2	9,8-31,5	72,6-93,1	6,9-27,4	1,2-7,7	0,82-1,27	1211- 1433	2,64- 2,67		0,63	33°39'	30°10'
	0,1	0,2	1,1	17,8	81,8	18,2	4,0	1,01	1339	2,65		0,66	36°11'	30°53'
Бл. 2-С ₁	0,0-0,3	0,0-0,7	0,4-3,0	12,0-32,8	75,3-92,7	7,3-24,7	1,2-6,0	0,90-1,27	1211- 1467	2,64- 2,66	8,0	0,63	33°38'	29°50'
	0,1	0,3	1,5	20,2	83,1	17,1	3,2	1,05	1355	2,65				
По м-нию	0,0-0,3	0,0-0,7	0,4-3,0	9,8-32,8	72,6-93,1	6,9-27,4	1,2-7,7	0,82-1,27	1211- 1467	2,64- 2,67	8,0-14,5	0,007-	33°38'	20°06'
	0,1	0,2	1,3	19,0	82,4	17,6	3,6	1,03	1347	2,65	11,4	0,82	36°59'	30°53'

Заключение

Месторождение представляет собой залежь песка изометричной формы. Песок коричнево-серо-коричневый, мелко-, тонкозернистый, слабо глинистый, с глубиной с единичными включениями гальки. Мощность полезной толщи изменяется от 7,7 до 16,2 м, в среднем составляет 10,3 м.

Месторождение обводнено в разной степени. Грунтовые воды встречены во всех скважинах на глубине от 0,0 м до 3,2 м.

По размерам, невыдержанной мощности полезной толщи и качеству сырья, месторождение отнесено ко 2 группе. Проведена радиационно-гигиеническая оценка с целью определения пригодности природного песка для промышленного освоения. Месторождение относится к 1 классу строительных материалов, и они могут применяться в строительстве без ограничений. По месторождению качество природного песка удовлетворяет требованиям ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ» и он может использоваться для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог.

Литература

1. Ибламинов Р.Г., Алванян А.К. *Региональная минералогия общераспространенных полезных ископаемых (на примере Пермского края)*: монография, Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2018:120 с.
2. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Пермского края на 15.03.2021 г. ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2021 г. № 049-00016-21-00
3. ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия».
4. Л.А. Шимановский, И.А. Шимановская Пресные подземные воды Пермской области. Пермь: Пермское книжное издательство, 1973:198 с.
5. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Песок и гравий. – М.: ФУГП ГКЗ, 2007. – 29 с.
6. Алванян А.К. Отчет о проведенных геологоразведочных работах на песок и песчано-гравийную смесь на месторождении «Володин камень» в Усольском районе Пермского края, ООО «УралГеоПроект», 2023 г.
7. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009»

References

1. Iblaminov R.G., Alvanyan A.K. Regional minerageny of common minerals: the case of Perm Krai: monograph. Perm: Perm State National Research University, 2018: 120 (in Russian).
2. Report on the state and prospects of using raw material base of Perm Krai as of 15 March 2021. "VSEGEI" under the state commission from the Federal Agency for Subsoil Use of 14 January 2021 No. 049-00016-21-00 (in Russian).
3. GOST 8736-2014 "Sand for construction works. Technical conditions" (in Russian).
4. Shimanovsky L.A., Shimanovskaya I.A. Fresh underground waters of the Perm region. Perm: Perm Publ., 1973: 198 (in Russian).
5. Methodical recommendations for the application of the Classification of reserves of deposits and forecast resources of solid minerals. Sand and gravel. Moscow; 2007 (in Russian).
6. Alvanyan A.K. Report on the geological exploration work carried out for sand and sand-gravel mixture at the Volodin Kamen deposit in the Usolsky district of the Perm region. Perm: UralGeoProyekt, 2023 (in Russian).
7. SanPiN 2.6.1.2523-09 "Radiation Safety Standards NRB-99/2009" (in Russian).

Об авторах

АЛВАНЯН Антон Каранетович – к.г.-м.н., доц. каф. Инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, Российская Федерация

E-mail: alv-anton@yandex.ru

АЛВАНЯН Карине Антоновна – к.г.-м.н., доц. каф. Инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, Российская Федерация, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7813-4779>

E-mail: karinealvanyan@yandex.ru

ТАГИЛЬЦЕВ Сергей Николаевич – д.т.н., проф. каф. Гидрогеологии, инженерной геологии и гео-экологии, Уральского государственного горного университета, г. Екатеринбург, Российская Федерация, ResearcherID: D-8994-2014, Scopus Author ID: 6506180352

E-mail: tagiltsev@k66.ru

About the authors

Anton K. ALVANIAN – Cand. Sci (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Engineering Geology and Subsoil Protection, Perm State National Research University, Bukirev str. 15, 614000, Perm, RF

E-mail: alv-anton@yandex.ru

Karine A. ALVANIAN – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Engineering Geology and Subsoil Protection, Perm State National Research University, Bukirev str. 15, 614000, Perm, RF. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7813-4779>

E-mail: karinealvanyan@yandex.ru

Sergey N. TAGILTSEV – Dr. Sci. (Engineering), Professor, Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology, Ural State Mining University, Kuibysheva St., 30, 620144, Yekaterinburg, RF. ResearcherID: D-8994-2014, Scopus Author ID: 6506180352

E-mail: tagiltsev@k66.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации

Authors' contribution

All authors made equivalent contributions to the publication

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Корреспондент автор имеет право и полномочия выступать от имени всех авторов по этому исследованию

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interest. Corresponding author has the right and authority to speak on behalf of all authors on this study

Поступила в редакцию / Submitted 13.05.2025

Принята к публикации / Accepted 27.05.25

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ПОРОД КРАСНОЦВЕТНОЙ ТЕРРИГЕННОЙ ФОРМАЦИИ

Ш.Х. Гайнанов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

gaynanov@inbox.ru

Аннотация

Основной задачей типизации пород описываемой формации в настоящей работе является установление пространственно-временной взаимосвязи и степени влияния генетических и литологических особенностей обстановок развития комплексов пород красноцветной терригенной формации на формирование инженерно-геологических свойств.

Роль постгенетических процессов имеет существенное значение для формирования пород. Причем в зависимости от направленности процесса он может оказывать как положительное влияние (упрочнение структурных связей) так и отрицательное в виде изменения минералогического состава и разрушения сформированных ранее структурных связей.

Процессы прогрессивного литогенеза, отвечающие стадии диагенеза и катагенеза осадочных образований, приводят к коренному преобразованию характера структурных связей в грунте и, как следствие, их свойств. Развитие этих процессов в геологической истории связано как с геолого-структурным положением массивов, так и с длительностью их протекания. В связи с этим более древние измененные грунты имеют, как правило, более высокие прочностные характеристики. Особенно четко это проявляется при постгенетических преобразованиях глинистых, и исходно песчаных грунтов (последние трансформируются в песчаники).

Автором исследования не ставилось цель классификации всех пород формации. Были выделены наиболее характерные и играющие значимую роль с инженерно-геологической точки зрения генетические комплексы пород, позволяющие показать влияние многообразия условий осадконакопления на формирование свойств грунтов.

В статье приведена систематизация условий осадконакопления, которая позволила создать инженерно-геологическую типизацию пород и определить иерархию внутри формации посредством привязки пород и фаций к генетическим комплексам.

Ключевые слова: Инженерно-геологическая типизация, песчаники, глины, фациальный анализ, отложения пермского периода, красноцветная формация, терригенные отложения, текстура, фации, генетические комплексы

Для цитирования: Гайнанов Ш.Х. Инженерно-геологическая типизация пород красноцветной терригенной формации. *Вестник СВФУ*. 2025;(2): 15-26. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-15-26

Original article

ENGINEERING-GEOLOGICAL TYPIFICATION OF ROCKS OF THE RED-COLORED TERRIGENOUS FORMATION

Sharibzan H. Gaynanov

Perm State National Research University, Perm, Russia

Abstract

The main objective of rock tyfication of the described formation in the present work is to establish the spatial and temporal relationship and the degree of influence of genetic and lithological features of the development conditions of rock complexes of the red-colored terrigenous formation on the formation of engineering and geological properties.

The role of post-genetic processes is essential for rock formation. Depending on the direction of the process, it can have both positive influence (strengthening of structural bonds) and negative influence in the form of changes in mineralogical composition and destruction of previously formed structural bonds.

The processes of progressive lithogenesis, corresponding to the stage of diagenesis and catagenesis of sedimentary formations, lead to a fundamental transformation of the nature of structural bonds in the soil and, as a consequence, their properties. The development of these processes in geologic history is related both to the geological and structural position of the massifs and to the duration of their occurrence. In this regard, older altered soils have, as a rule, higher strength characteristics. This is especially clear in postgenetic transformations of clayey and initially sandy soils (the latter are transformed into sandstones).

The author of the study did not aim to classify all the rocks of the formation. The most characteristic and significant from the engineering-geological point of view genetic complexes of rocks were identified, which allow to show the influence of the diversity of sedimentation conditions on the formation of soil properties.

The paper presents the systematization of sedimentation conditions, which made it possible to create an engineering-geological typification of rocks and determine the hierarchy within the formation by linking rocks and facies to genetic complexes.

Keywords: engineering geological typification, sandstones, clays, facies analysis, Permian sediments, Red-Colored Formation, terrigenous sediments, texture, facies, genetic complexes

For citation: Gainanov Sh.H. *Engineering-geological typing of rocks of red-colored terrigenous formation. Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences.* 2025;(2):15–26 (in Russian) DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-15-26

Введение

Проблемам формирования пород красноцветных формаций аридного литогенеза посвящены работы многих видных советских и зарубежных авторов. История этих исследований достаточно длительна. Взгляды на эту проблему менялись по мере накопления информации – от И. Вальтера [7, 8], считавшего их типично пустынными образованиями, до современных, считающих условия их образования значительно более разнообразными. Перелом во взглядах был заложен Р.Д. Кругин [3], Л.В. Пустоваловым [24].

Отечественная наука внесла значительный вклад в исследования этой проблемы. Прежде всего необходимо упомянуть классические работы Н.М. Страхова [31-33] и Л.Б. Рухина [25-26], в которых подробно изучены тектонические палеогеографические и фациальные условия образования толщ красноцветных пород. Позже отдельные положения, высказанные в этих трудах, были развиты в работах А.И. Анатольевой [4, 5], В.И. Игнатьева [15-17], Н.Н. Верзилина [9] и др. Региональным вопросам развития и образования красноцветов посвящены работы Г.И. Теодоровича [34], Н.Н. Форша [35], И.Г. Коробановой [19], З.А. Кривошеевой [20], А.В. Сочава [30], М.А. Плотникова [23], Т.С. Самодурова [27], Н.И. Чернышева [36,37], И.А. Печеркина [22], Л.А. Боткиной [6], С.Г. Саркисян [28, 29] и многих других исследователей.

В настоящей статье рассматриваются вопросы формирования красноцветных отложений Западного Приуралья, так как по мнению автора именно она лежит в основе всех последующих преобразований этих пород включая и протекание современных экзогенных процессов.

В пределах Русской платформы пермские отложения прослеживаются к западу от Урала полосой протяженностью до 1000 км (рис. 1).

Основной задачей типизации пород описываемой формации в настоящей работе является установление пространственно-временной взаимосвязи и степени влияния генетических и литологических особенностей обстановок развития комплексов пород красноцветной терригенной формации на формирование инженерно-геологических свойств.

Учитывая поставленную задачу, автором не ставилось целью классификация всех пород формации. Были выделены наиболее характерные и играющие значимую роль с инженерно-геологической точки зрения генетические комплексы пород, позволяющие показать влияние многообразия условий осадконакопления на формирование свойств пород.

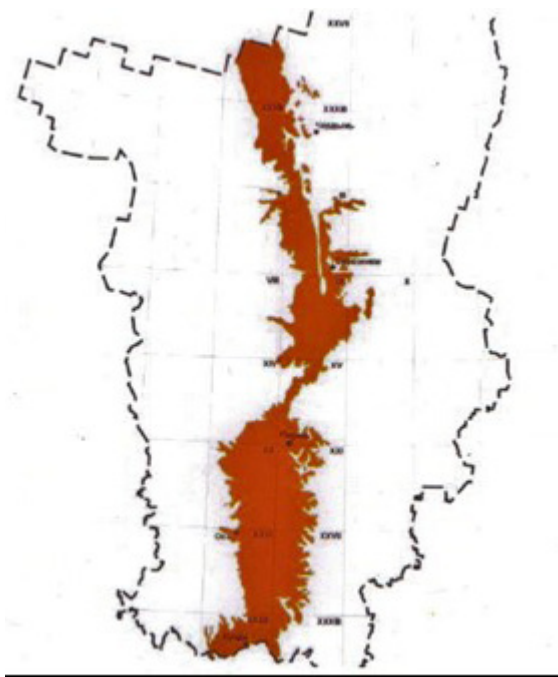


Рис. 1. Полоса выходов шешминской свиты в пределах Пермского края (по Казанцеву Ю.В., 1984.)

Fig. 1. Band of outcrops of the Sheshma Formation within the Perm Krai (according to Kazantsev Yu.V., 1984)

В статье приведена систематизация условий осадконакопления, которая позволила создать инженерно-геологическую типизацию пород и определить иерархию внутри формации посредством привязки пород и фаций к генетическим комплексам.

Результаты и обсуждение

Очевидное преобладание песчаников и глин (табл. 1) в красноцветной формации позволяет рассматривать их как имеющих наибольшее значение в строении массивов пород и играющих определяющую роль при оценке инженерно-геологических условий. В этой статье приводится типизация песчаников и глинистых пород красноцветной формации. Автор опирается на исследования авторов, опубликованных в работах [13, 14, 18] и на собственные полевые и лабораторные исследования пород красноцветной толщи, представленные пермскими отложениями в пределах главного пермского поля земного шара.

Таблица 1

Типовое литологическое строение красноцветной формации

Table 1

Typical lithologic structure of the red-colored formation

Горная порода	Генетический комплекс		
	Аллювиальный	Дельтовый	Бассейновый
Глина	5 %	25 %	40 %
Известняк	1 %	—	2 %
Алевролит	10 %	5 %	8 %
Песчаник	80 %	70 %	50 %
Конгломерат	4 %	—	—

Инженерно-геологические условия (ИГУ) определяются генетическими и постгенетическими процессами. Поэтому в качестве классификационных признаков выбраны: генетические комплексы, фациальные условия.

Влияние генетических комплексов и фациальных условий на формирование ИГУ достаточно полно рассмотрены в работах [10, 11, 12, 21]. Поэтому более детально остановимся на инженерно-геологических свойствах массива пород, являющихся средой или основанием сооружений. Для оценки несущей способности грунтового основания используют прочностные и деформационные характеристики пород. Одним из основных факторов, определяющих прочность на сжатие и модуль общей деформации, является прочность структурных связей, которую можно оценить через тип цементации. Поэтому в качестве классификационного признака выбран показатель характеризующий вид цемента.

Выявлены следующие типы цемента: 1) базальный; 2) порово-базальный; 3) поровый; 4) контактно-поровый; 5) контактовый (соприкосновения). Типы и содержание цемента в песчаниках приведены в таблице 2.

Содержание цемента зависит от преобладающего размера зерен, слагающих песчаники, который определяется условиями седиментации. В условиях большего уплотнения тип цемента зависит от размера зерен. Как отмечается Е.И. Сергеевым, с уменьшением зернистости возрастает прочность.

Таблица 2

Виды и содержание цемента в песчаниках

Table 2

Types and content of cements in sandstones

Генетический комплекс	Фация	Характеристика цемента		
		Тип	Состав	% содержания в фации
Аллювий	Русловая	базальный	карбонатный	70
		порово-базальный	глинисто-карбонатный	30
	периферия русла	порово-базальный	карбонатный	30
		поровый	глинисто-карбонатный	40
		контактный	карбонатно-глинистый	25
	Пойменная	контактный	глинистый	70
Дельта	верхняя часть	базальный	карбонатный	70
		поровый	глинисто-карбонатный	30
	нижняя часть	порово-контактный	глинистый	60
			карбонатно-глинистый	40
Бассейн	верхняя часть	базальный, поровый	карбонатный	60
	нижняя часть	базальный	карбонатный	30
		порово-базальный	глинисто-карбонатный	
		контактно-поровый	карбонатно-глинистый	10

Различие режимов и динамики осадконакопления определило особенности зернистости, характера и состава цементации в различных генетических комплексах и, как следствие, прочности песчаников. Так, песчаники сформировавшиеся в пределах седиментационного бассейна, при лучшей сортировке зерен отличаются от аллювиального и дельтового комплексов наибольшим разбросом зернистости.

Различие в содержании основных компонентов, влияющих на прочность песчаников различных фаций отражены на рисунке 2.

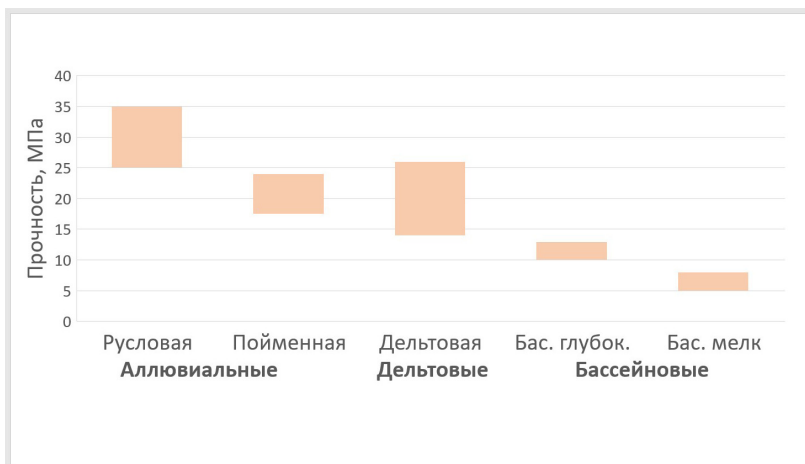


Рис. 2. Зависимость прочности (R_c , МПа) от фациальных условий осадконакопления

Fig. 2. Dependence of strength (R_c , MPa) on facies conditions of sedimentation

Анализ характера цементации в песчаниках различных фаций в генетических комплексах красноцветной формации позволяет выделить преобладающие типы цемента в них.

Как видно из рисунка 2, наиболее прочные типы песчаника представлены в русловой фации аллювия, верхней части дельтовых песчаников и верхней пачке бассейновых. Здесь преобладает карбонатный базальный и поровый цементы. Наименее прочные разновидности песчаника отличаются присутствием существенной доли глинистой составляющей в цементе и характерны для поймы и периферии русла, а также верхней пачки бассейновых отложений (рисунок 3).



Рис. 3. Зависимость глинистости песчаников от фациальных условий

Fig. 3. Dependence of sandstone clay content on facies conditions

На основании выявленных закономерностей формирования инженерно-геологических условий песчаников проведена их типизация (табл. 3).

Таблица 3

Инженерно-геологическая типизация песчаников

Table 3

Engineering-geological typification of sandstones

Генетический комплекс	Фации	Прочность сред. знач. R _c , МПа / Размах	Тип пород
Аллювиальный	Русловая	$\frac{33}{30 - 35}$	Аллювиальный русловой
	Пойменная	$\frac{22}{15 - 24}$	Аллювиальный пойменный
Дельтовая	Верхняя часть	$\frac{17}{14 - 26}$	Дельтовый, верхней части
	Нижняя часть	$\frac{12}{10 - 14}$	Дельтовый, нижней части
Бассейновый	Верхняя часть	$\frac{11}{10 - 13}$	Бассейновый, верхней части
	Нижняя часть	$\frac{4}{3 - 5}$	Бассейновый нижней части

Таким образом, генетические комплексы, фациальные условия осадконакопления и прочность пород, как комплексный показатель состава и структуры пород (тип и содержание цемента) положены в основу инженерно-геологической типизации песчаников.

В качестве классификационных признаков для глинистых грунтов выбраны: генетические комплексы, фациальные условия. Поэтому более детально остановимся на инженерно-геологических свойствах массива пород. Исследования показали, что основным фактором, определяющим инженерно-геологические свойства глин, является их текстура, которая определяется наличием и характером взаиморасположения в породе обломочного материала (алевритовых примесей) и карбонатов. По этому признаку выделяются 3 основных типа текстур: А – беспорядочная, Б – слоистая, В – пятнистая, среди которых выделяются ряд разновидностей (табл. 4).

В качестве третьего классификационного признака выбрана текстура глин. Кроме того свойства глин в значительной степени определяются вещественным составом, а именно: содержанием карбонатов, в меньшей степени – обломочного материала. Влияние карбонатности на прочность глин необходимо рассматривать с учетом их текстур.

Водопрочность рассматриваемых глин в значительной степени определяется вещественным составом, а именно: содержанием карбонатов, в меньшей степени – обломочного материала, а также глинистых минералов. Повышение карбонатности глинистых пород увеличивает устойчивость к размоканию в воде во всех видах глин, независимо от их текстур. На то же указывает зависимость водопрочности от фациальной принадлежности, которая контролирует содержанием карбонатов (рис. 4).

Таблица 4

Типы текстур глин

Table 4

Clay texture types

Типы текстур	Среднее содержание карбонатов, % / Размах	Разновидности текстур	Среднее Rc, МПа / Размах
Беспорядочная	$\frac{30}{15 - 45}$	–	$\frac{7}{7 - 8}$
Слоистая	$\frac{22}{14 - 30}$	прерывисто-неяснослоистая	$\frac{7,5}{7 - 8}$
	$\frac{6}{2 - 10}$	горизонтальная	$\frac{1}{1 - 2}$
		неяснослоистая	
		Прерывистая	
	$\frac{4}{1 - 8}$	линзовидная	$\frac{1,4}{1, - 2}$
Пятнистая	$\frac{6}{2 - 10}$	неравномерные сгустки	$\frac{0,8}{0,2 - 1,5}$
	$\frac{3}{2 - 5}$	неравномерно-хлопьевидная	$\frac{1,5}{1 - 3}$
	$\frac{22}{14 - 30}$	равномерно-хлопьевидная	$\frac{7,5}{6 - 9}$



Рис. 4. Зависимость категории водопропрочности глинистых пород от фациальных условий

Fig. 4. Dependence of clayey rocks water resistance on facies conditions

Периодическая смена гидродинамических обстановок способствовала затухиванию четких закономерно направленных текстурных обстановок. Это было замечено и Н.М. Страховым [15]. Нестабильность условий осадконакопления выражалась в различии конфигурации дна, гидродинамического режима, глубины участка бассейна, смены областей сноса. Однако, некоторые закономерности привязки типов текстур глинистых пород красноцветов можно наблюдать по преобладающему их присутствию в выделенных генетических комплексах и фациях (рис. 5, 6).

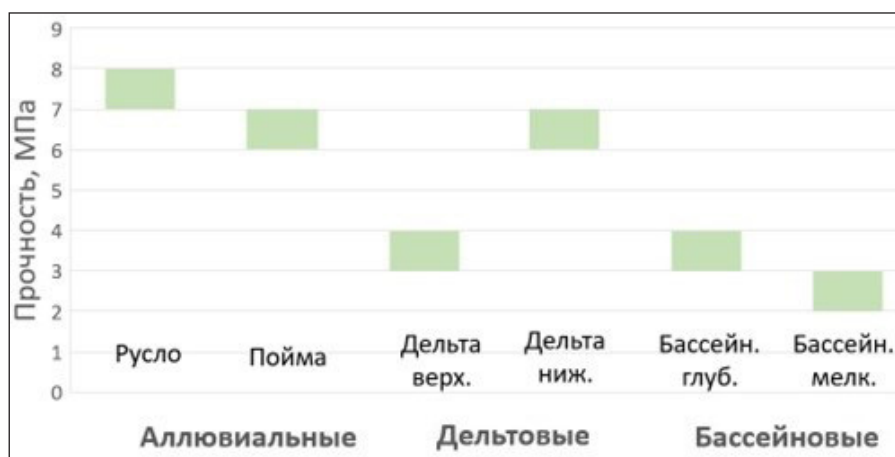


Рис. 5. Зависимость прочности R глинистых пород от фациальных условий

Fig. 5. Dependence of strength R of clayey rocks on facies conditions

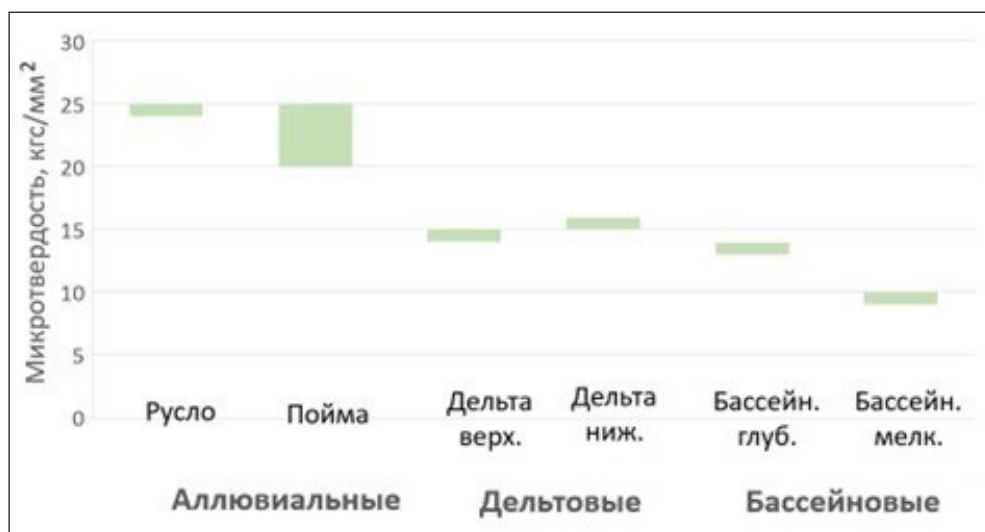


Рис. 6. Зависимость микротвердости глинистых пород от фации

Fig. 6. Dependence of microhardness of clayey rocks on facies

Таким образом, для глинистых грунтов красноцветной формации в основу типизации положены генетические комплексы, фациальные условия осадконакопления и текстура, выраженные через показатель прочности. Результаты типизации приведены в таблице 5.

Таблица 5

Типизация глинистых пород

Table 5

Typification of clay rocks

Генетический комплекс	Фация	Среднее R _c , МПа / Размах	Тип пород
Аллювиальный	русовая	$\frac{9}{8 - 11}$	аллювиальный, русловой
	пойменная	$\frac{7}{6 - 8}$	аллювиальный, пойменный
Дельтовый	верхняя	$\frac{4}{3 - 6}$	дельтовый, верхней части со слоистой текстурой
	Нижняя	$\frac{6}{4 - 8}$	дельтовый, нижней части со слоистой текстурой
Бассейновый	верхняя	$\frac{4}{3 - 5}$	бассейновый, верхней пачки с пятнистой текстурой
	Нижняя	$\frac{2}{1 - 3}$	бассейновый, нижней пачки с пятнистой текстурой

Заключение

Историко-геологический подход и применение фациального анализа позволили впервые разработать инженерно-геологическую типизацию основных пород красноцветной терригенной формации.

Генетические комплексы, фациальные условия осадконакопления и прочность пород, как комплексный показатель состава и структуры пород (тип и содержание цемента) положены в основу инженерно-геологической типизации песчаников.

Для глинистых грунтов красноцветной формации в основу типизации также положены генетические комплексы, фациальные условия осадконакопления, а кроме этого текстура глин, выраженная через показатель прочности.

Литература

1. Gainanow Sh. Ch., Maximowitsch N.G. Bildungs-bedingungen und mineralogische Besonderheiten der Oberpermer Rotsedimente // MinPet 90 Internationales Simposium, Neue Bergbautechnik. 1990. Heft 9, September. P. 681- 686.
2. Gainanow Sh., Petscherkin J. Über den Einfluß von eisenhaltigen Mineralen auf die physikalisch-mechanischen Eigenschaften und die Farbe von Sand- und Tonablagerungen // MinPet 90 Internationales Simposium, Neue Bergbautechnik. – 1983. – Heft 5, Mai. – P. 684-688.
3. Krynine P.D. The origin of red beds. Trans. New York. Akad. Sci, Ser. II, № 3, 1949.
4. Анатольева А.И. Главные рубежи эволюции красноцветных формаций / А.И. Анатольева. – Новосибирск: Наука, 1976. – 189 с.
5. Анатольева А.И. Домезозойские красноцветные формации / А.И. Анатольева. – Новосибирск: Наука, 1972. – 346 с.
6. Боткина Л.Н. Ритмы и циклы в осадочных горных породах / Л.Н. Боткина. – М.: Знание, 1977. – 48 с.

7. Вальтер И. История земли и жизни / И. Вальтер. – СПб., 1911. – 537 с.
8. Вальтер И. Законы образования пустынь в настоящее время / И. Вальтер. – Пер. с нем. А. Носкова. – СПб.: Брокгауз-Ефрон, 1911. – 201 с.
9. Верзилин Н.А. Закономерности аридного литогенеза и методы их выявления / Н.А. Верзилин. – Ленинград: Изд-во Ленинградского ун-та, 1975. – 140 с.
10. Гайнанов Ш.Х. Этапы формирования инженерно-геологических свойств пород красноцветной терригенной формации Прикамья // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2022. Т. 21. № 2. С. 111-123.
11. Гайнанов Ш.Х., Трусова А.В. Генетические типы песчаников красноцветной терригенной формации как основа для оценки их инженерно-геологических свойств // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2019. Т. 18. № 1. С. 28-37.
12. Гайнанов Ш.Х., Трусова А.В. Типы текстур глинистых пород красноцветной терригенной формации и их влияние на прочностные свойства // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2020. Т. 19. № 2. С. 123-131.
13. Диагенез и катагенез осадочных образований : [пер. с англ.] / под ред. Г. Ларсена и Дж. В. Чилингара, [под ред. и с предисл. чл.-кор. АН СССР Н. Б. Вассоевича]. – Москва : Мир, 1971. – 464 с. : ил.; 27 см. – (Науки о Земле. Фундаментальные труды зарубежных ученых по геологии, геофизике и геохимии; т. 36)
14. Жемчужников Ю.А. Сезонная слоистость и периодичность осадконакопления [Текст]. – Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1963. – 71 с. : ил.; 25 см. – (Труды/ Акад. наук СССР. Геол. ин-т; Вып. 86).
15. Игнатьев В.И. Татарский ярус центральных и восточных областей Русской платформы / В.И. Игнатьев. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1962-1963. – 2 т. Ч.1: Стратиграфия. Ч. 1. – 1962. – 334 с.
16. Игнатьев В.И. Формирование Волго-Уральской антеклизы в пермский период / В.И. Игнатьев. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1976. – 256 с.
17. Игнатьев В.И. Эволюция представлений о геологии казанского яруса Русской платформы / В.И. Игнатьев. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1978. – 104 с.
18. Инженерно-геологическая типизация и изучение скальных массивов / Г. А. Голодковская, М. Матула, Л. В. Шаумян. – Москва : Изд-во МГУ, 1987. – 271с.
19. Коробанова И.Г. Закономерности формирования инженерно-геологических свойств терригенных отложений на разных стадиях литогенеза: докторская диссертация / И.Г. Коробанова. – М. 1980. – 499 с
20. Кривошеева З.А. Литолого-стратиграфическая характеристика верхнепермских красноцветных отложений среднего прикамья и чебоксарского Поволжья как основа для их инженерно-геологической оценки: диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук / З.А. Кривошеева. – М., 1966. – 405 с.
21. Петтиджон Ф., Пески и песчаники [Текст] : [Пер. с англ.] / Ф. Петтиджон, П. Поттер, Р. Сивер. – Москва : Мир, 1976. – 535 с. : ил.; 26 см. – (Науки о Земле. Фундаментальные труды зарубежных ученых по геологии, геофизике и геохимии)
22. Печеркин И.А. Геодинамика побережий камских водохранилищ. Ч.2 / И. А. Печеркин. – Пермь, 1969. – 308 с.
23. Плотников М.А. Стратиграфия и литология верхнепермских отложений нижнего течения рек Мезени и Башки / М.А. Плотников. – М.-Л.: Наука, 1964. – 70 с.
24. Пустовалов Л. В. Условия осадкообразования в верхнепермскую эпоху / Л. В. Пустовалов // *Проблемы советской геологии*. – 1937. – № 11 (Т.7).
25. Рухин Л.Б. Основы литологии / Л.Б. Рухин. – Ленинград: Недра, 1969. – 703 с.
26. Рухин Л.Б. Основы общей палеографии. Л., Гостехиздат, 1959.
27. Самодуров П.С. Минералогия и генезис лессовых и красноцветных пород юго-западной части СССР. Ч. 1, 2 / П.С. Самодуров. – Якутск, 1957. – 220 с.
28. Саркисян С.Г. Минералы осадочных пород / С.Г. Саркисян, И.А. Преображенский. – М.: Гостоптехиздат, 1954. – 463 с.
29. Саркисян С.Г. Петрографо-минералогические исследования верхнепермских и триасовых отложений Приуралья / С.Г. Саркисян. – Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР, 1949 – 192 с.
30. Сочава А.В. Красноцветы мела Средней Азии / А.В. Сочава. – Ленинград: Наука, 1968. – 120 с.
31. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза / Н.М. Страхов. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 2 т.
32. Страхов Н.М. Развитие литогенетических идей в России и СССР / Н.М. Страхов. – М.: Наука, 1971. – 608 с.

33. Страхов Н.М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли / Н.М. Страхов. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – 535 с.
34. Теодорович Г.И. Фации и условия образования преимущественно терригенных отложений девона основной части Волго-Уральской области / Г.И. Теодорович. – М.: Наука, 1967. – 102 с
35. Форш Н.Н. Пермские отложения: Уфимская свита и казанский ярус / Н.Н. Форш. – Ленинград: Гостоптехиздат, 1955. – 156 с.
36. Чернышев Н.И. Строение и условия образования верхнепермских отложений юго-запада Пермской области: Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Н.И. Чернышев. – Саратов, 1962. – 19 с.
37. Чернышев Н.И. Тектоническая трещиноватость верхнепермских пород Пермско-Сарапульского Прикамья / Н.И. Чернышев // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 1959. – № 12.

References

1. Gainanow Sh. Ch., Maximowitsch N.G. Bildungs-bedingungen und miner-alogische Besonderheiten der Oberpermer Rotsedimente. MinPet 90 Internation-ales Simposium, Neue Bergbautechnik. 1990. Neft 9, September. P. 681–686 (in German).
2. Gainanow Sh., Petscherkin J. Uber den Einfluß von eisenhaltigen Miner-alen auf die physikalisch-mechanischen Eigenschaften und die Farbe von Sand- und Tonablagerungen. MinPet 90 Internationales Simposium, Neue Bergbautechnik. 1983; Neft 5, Mai: 684–688 (in German).
3. Krynine P.D. The origin of red beds. Trans. New York. Akad. Sci, Ser. II, No. 3, 1949.
4. Anatoleva A.I. *Main stages in the evolution of red-color formations*. Novosibirsk: Nauka; 1976:189 (in Russian).
5. Anatoleva A.I. *Pre-Mezozoic red-color formations*. Novosibirsk: Nauka; 1972:346 (in Russian).
6. Botkina L.N. *Rhythms and cycles in sedimentary rocks*. Moscow: Znanie; 1977:48 s (in Russian).
7. Valter I. *The history of Earth and life*. Saint-Petersburg, 1911:537 (in Russian).
8. Valter I. *The laws of desert formation in present time*. Saint-Petersburg: Brokgauz-Efron, 1911:201 (in Russian, translated from German).
9. Verzhilin N.A. *The laws of arid lithogenesis and the methods of their detection*. Leningrad: Leningrad University Press, 1975:140 (in Russian).
10. Gajnanov Sh.H. The stages in formation of engineering-geological properties of red-color rocks of terrigenous formation of Kama region. *Bulletin of Perm Unviersity. Geology*. 2022;2(21):111–123 (in Russian).
11. Gajnanov Sh.H., Trusova A.V. Genetic types of sandstones of the red-color terrigenous formation as a baseline for assessing their engineering-geological properties. *Bulletin of Perm Unviersity. Geology*. 2019;1(18):28–37 (in Russian).
12. Gajnanov Sh.H., Trusova A.V. Types od texture in clay rocks of red-color terrigenous formation and their impact on their structural behavior. *Bulletin of Perm Unviersity. Geology*. 2020;2(19):123–131 (in Russian).
13. *Diagenesis and catagenesis of sedimentary formations*. G. Larsen, Dzh. V. Chilingar (eds.). Moscow: Mir; 1971:464 (in Russian).
14. Zhemchuzhnikov Yu.A. *Seasonal layers and periods of sediment accumulation*. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ.; 1963:71 (in Russian).
15. Ignatev V.I. *Tatar strata of central and eastern areas of the Russian platform*. Kazan: Kazan University Press, 1962–1963; Vol. 2, part 1: Stratigraphy. 1962:334 (in Russian).
16. Ignatev V.I. *The formation of the Volga-Ural anticline in the Perm period*. Kazan: Kazan University Press; 1976:256 (in Russian).
17. Ignatev V.I. *The evolution of the views on geology of the Kazan starta of the Russian platform*. Kazan: Kazan University Press; 1978:104 (in Russian).
18. Golodkovskaya G.A., Matula M., Shaumyan L.V. *Engineering-geological typification and the study of rock massifs*. Moscow: Moscow University Press; 1987:271 (in Russian).
19. Korobanova I.G. The laws of formation of engineering-geological properties of terrigenous sediments at different stages of lithogenesis. Doctor's dissertation. Moscow. 1980:499 (in Russian).
20. Krivosheeva Z.A. Lithological and stratigraphic characteristics of the Upper Permian red-colored deposits of the middle Kama and Cheboksary Volga regions as a basis for their engineering-geological assessment. Candidate's dissertation (Geology and Minerology). Moscow. 1966:405 (in Russian).

21. Pettidzhon F., Potter P., Siver R. et al. *Sands and sandstones*. Moscow: Mir; 1976:535 (in Russian, translated from English).
22. Pecherkin I.A. *Geodynamics of the coasts of the Kama reservoirs*, p. 2. Perm; 1969:308 (in Russian).
23. Plotnikov M.A. *Stratigraphy and lithology of the Upper Permian deposits of the lower reaches of the Mezen and Bashka rivers*. Moscow, Leningrad: Nauka, 1964. – 70 s (in Russian).
24. Pustovalov L. V. Sedimentation conditions in the Upper Permian age. *Issues of Soviet Geology*. 1937;11(7) (in Russian).
25. Ruhin L.B. *Fundamental lithology*. Leningrad: Nedra; 1969:703 (in Russian).
26. Ruhin L.B. *Fundamentals of general paleogeography*. Leningrad: Gostekhizdat; 1959 (in Russian).
27. Samodurov P.S. Mineralogy and genesis of loess and red-colored rocks of the southwestern part of the USSR. Parts 1, 2. Yakutsk, 1957:220 (in Russian).
28. Sarkisyan S.G., Preobrazhenskij I.A., Sarkisyan S.G. *Sedimentary minerals*. Moscow: Gostoptekhizdat; 1954:463 (in Russian).
29. Sarkisyan S.G. *Petrographic and mineralogical studies of the Upper Permian and Triassic deposits of the Urals*. Moscow, Leningrad: USSR Academy of Sciences Publ.; 1949:192 (in Russian).
30. Sochava A.V. *Red chalks of Central Asia*. Leningrad: Nauka, 1968:120 (in Russian).
31. Strahov N.M. *Fundamental theory of lithogenesis*. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ.; 1960 (in Russian).
32. Strahov N.M. *The evolution of lithogenesis ideas in Russian and the USSR*. Moscow: Nauka; 1971:608 (in Russian).
33. Strahov N.M. *Types of lithogenesis and their evolution in the earth history*. Moscow: Gosgeoltekhizdat; 1963:535 (in Russian).
34. Teodorovich G.I. *Facies and conditions of formation of predominantly terrigenous deposits of the Devonian in the main part of the Volga-Ural region*. Moscow: Nauka; 1967:102 (in Russian).
35. Forsh N.N. *Permian deposits: Ufa suite and Kazan strata*. Leningrad: Gostoptekhizdat; 1955:156 (in Russian).
36. Chernyshev N.I. Structure and conditions of formation of Upper Permian deposits in the southwest of the Perm region: Summary of Candidate's dissertation geology and Minerology). Saratov; 1962:19 (in Russian).
37. Chernyshev N.I. Tectonic fracturing of the Upper Permian rocks of the Perm-Sarapul Prikamye. *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration*. 1959; 12 (in Russian).

Об авторе

ГАЙНАНОВ Шарибзан Хатинович – к.г.-м.н., доц. каф. Инженерной геологии и охраны недр ФГАОУ ВО «ПГНИУ», г. Пермь, Российская Федерация, SPIN: 9319-3297
E-mail: gaynanov@inbox.ru

About the author

Sharibzan Khatinovich GAINANOV – Cand. Sci. (Geology and Minerology), Docent, Associate Professor, Department of Engineering Geology and Subsoil Protection, PGNIU”, SPIN: 9319-3297
E-mail: gaynanov@inbox.ru

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests

The author declares that there is no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 03.04.2025
Принята к публикации / Accepted 20.05.25

ПЕДОГЕННЫЕ КАРБОНАТЫ В АВТОМОРФНЫХ ПОЧВАХ ПОДТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М.Ш. Садиров, Э.Ш. Туробов*

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

*sadirovmuhriddin02@gmail.com

Аннотация

Педогенные карбонаты – это основной источник почвенного неорганического углерода, который играет важную роль обмена углерода между почвой и атмосферой. Тем самым оказывает влияние на глобальные климатические процессы. Кроме того, данный процесс еще больше пробуждает интерес к изучению карбонатов, ведь изменение климата – считается одной из актуальных проблем современности [18].

В статье представлены результаты исследования педогенных карбонатов в автоморфных почвах подтаежной зоны юго-восточной части Западной Сибири. Исследования проводились на юго-востоке Западной Сибири (Томь-Яйское междуречье) в подтаежной природной зоне. Изучены процессы, связанные с распределением карбонатных горизонтов в почвенном профиле. Оптическими методами и методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) изучены морфологические особенности карбонатных новообразований, включая хемогенные (гипокутаны) и биогенные образования (биопенки с игольчатыми кристаллами кальцита), а также дана оценка влияния факторов атмосферного осадка и микрорельефа на формирование карбонатных горизонтов в условиях подтаежной зоны юго-восточной части Западной Сибири.

Установлено значительное разнообразие в распределении карбонатов в почвах двухметровой толщи. Выявлены региональные различия в содержании СаО: в Томской области среднее содержание СаО в карбонатных горизонтах составляет 3.0 – 4.0 %, а в Кемеровской области – 6 %. Это указывает на менее интенсивное выщелачивание карбонатов в южной части региона.

Основной формой карбонатных новообразований являются гипокутаны, формирующиеся вблизи верхней линии карбонатного горизонта вокруг корневых каналов. Показано, что генезис гипокутан связан как с поступлением карбонатов из вышележащих горизонтов (модель *perdescendum*), так и с подтягиванием капиллярных растворов при иссушении (модель *perascendum*).

Полученные результаты важны для понимания текущего состояния почвенных карбонатных горизонтов и прогнозирования его изменений в условиях меняющегося климата.

Ключевые слова: педогенный карбонат, неорганический углерод, почвообразующая порода, подтайга, карбонатные новообразования, выщелачивание, микрорельеф, кристаллизации, микроагрегаты, гипокутаны, игольчатый кальцит.

Благодарности. Авторы благодарят канд. геол. мин. наук. И. В. Вологдину и канд. биол. наук. С. В. Лойко за ценные замечания.

Для цитирования: Садиров М.Ш., Туробов Э.Ш. Педогенные карбонаты в автоморфных почвах подтаежной зоны Западной Сибири. *Вестник СВФУ*. 2025;(2): 27-39. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-27-39

PEDOGENIC CARBONATES IN AUTOMORPHIC SOILS OF THE SUBTAIGA ZONE OF THE SOUTHEASTERN PART OF WESTERN SIBERIA

Mukhriddin Sh. Sadirov, Eldor Sh. Turobov*

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

*sadirovmuhriddin02@gmail.com

Abstract

Pedogenic carbonates are the main source of soil inorganic carbon, which plays an important role in the exchange of carbon between the soil and the atmosphere. Thus, it has an impact on global climate processes. In addition, this process further arouses interest in the study of carbonates because climate change is considered one of the urgent problems of our time [18].

The article presents the results of a study of pedogenic carbonates in automorphic soils of the subtaiga zone of the southeastern part of Western Siberia. The research was conducted in the south-east of Western Siberia (Tom-Yayskoye interfluvium) in the subtaiga natural zone. The processes related to the distribution of carbonate horizons in the soil profile have been studied. Morphological features of carbonate neoplasms, including chemogenic (hypocutanes) and biogenic formations (biofilms with needle-like calcite crystals), have been studied using optical methods and scanning electron microscopy (SEM), and the influence of microrelief factors on the formation of carbonate horizons in the conditions of the subtaiga zone of the southeastern part of Western Siberia has been assessed.

A significant diversity in the distribution of inorganic carbons in soils with a thickness of two meters was established. Regional differences in CaO content were identified: in the Tomsk region, the average CaO content in carbonate horizons is 3.0 – 4.0 %, and in the Kemerovo region – 6 %. This indicates less intensive leaching of carbonates in the southern part of the region.

The main form of carbonate neoplasms is hypocutanes, which form near the upper line of the carbonate horizon around the root canals. It was shown that the formation of hypocutanes is linked to both the movement of carbonates from deeper layers (perdescendum model) and the stretching of capillary solutions as they dry out (perascendum model).

The results obtained are important for understanding the current state of soil carbonate horizons and predicting their changes in a changing climate.

Keywords: inorganic carbon, pedogenic carbonate, soil-forming rock, subtaiga, carbonate neoplasms, leaching, microrelief, crystallization, microaggregates, hypocutanes, needle calcite

Acknowledgments. The authors would like to thank the Candidate of Geological Sciences I. V. Vologdina and the Candidate of Biological Sciences S. V. Loiko for valuable comments.

For citation: Sadirov M.Sh., Turobov E.Sh. Pedogenic carbonates in automorphic soils of the subtaiga zone of Western Siberia. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*. 2025;(2):27–39 (in Russian) DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-27-39

Введение

К педогенным карбонатам относятся карбонатные минералы, образующие в почвах. Процессы их формирования тесно связаны с генезисом почв и их эволюцией [11, 13, 17]. Это карбонаты кальция, магния, натрия и другие, вновь сформированные или измененные в почве в присутствии уголекислоты, образующейся при разложении органических остатков и дыхании корней. На процессы формирования, скорость накопления и общее количество педогенных карбонатов влияет большой комплекс различных внешних и внутренних факторов. Внешние факторы, такие как климат, рельеф и организмы, в основном влияют на локализацию и скорость образования почвенных карбонатов, а также регулируют водный баланс и содержание CO₂ в почвенном воздухе. Внутренние почвенные факторы, такие как материнская порода и физико-химические свойства, в основном отвечают за общее количество почвенных карбонатов, их

морфологию и примеси [2, 13, 18]. Целью работы является изучение карбонатного состояния автоморфных почв подтаежной зоны юго-восточной части Западной Сибири.

Карбонатное состояние представляет собой, по определению Хохловой О. С., «совокупность всех форм карбонатного вещества на различных уровнях организации в почве, независимо от его содержания, структуры и состава» [1]. Содержание карбонатов в почве, глубина залегания и форма выделения являются важными признаками диагностики состояния почв. Карбонатный горизонт представляет собой продукт образования, накопления и перераспределения карбонатных веществ в почвах.

Объекты, материалы и методы исследования

Территория исследований расположена на юго-востоке Западной Сибири, в пределах западного макросклона Томь-Яйского междуречья. Объекты исследования располагаются в подтаежной природной зоне. Основные условия формирования почв подтаежной зоны Западной Сибири связаны с переходным характером ландшафта между тайгой и лесостепью. Этот регион характеризуется сложным сочетанием геоморфологических, климатических и гидрологических факторов, определяющих специфику почвообразования. Рельеф исследуемой территории, включая водораздельные поверхности и их склоны, а также высокие террасы рек, покрывается верхнечетвертными отложениями. Покровные лёссовидные суглинки представляют собой верхнечетвертные осадки [6, 7, 9]. В их гранулометрическом составе преобладает пылеватая фракция – до 40–80 %; содержание CaCO_3 в них высокое – до 6–7 %, местами до 18,5 % [3]. По генезису лёссовидными суглинки, образованными, преимущественно, под воздействием субаэральных факторов. Эти породы выступают в качестве почвообразующих. На них сформированы самые распространенные с благоприятными свойствами почвы Западно-Сибирской равнины. Почвенный покров территории исследований представлен различными типами почв, которые зависят от климатических условий и рельефа местности. Преобладающие лесные почвы являются темно-серыми, серыми лесными и дерново-подзолистыми почвами [6, 7]. Согласно «Полевому определителю почв России» (2008), темно-серые почвы имеют следующие горизонты – AU-BEL-BT-C, серые – AY-AEL-BEL-BT-C и дерново-подзолистые – AY-EL-BEL-BT-C [8]. Исследуемая территория (от г. Томска до г. Кемерово) характеризуется среднегодовой температурой $+0,9^\circ\text{C}$, количество осадков составляет 568–505 мм [7, 10].

С целью определения распространенности карбонатных новообразований в почвенном профиле и их характеристики в подтаежной зоне изучено 11 профилей. В каждом изученном профиле были образцы верхних горизонтов (BT, BC) и горизонтов почвообразующих пород (C). Важно отметить, что все почвенные разрезы находятся под лесом; из них 8 разрезов находятся на юго-востоке Томской области и 3 разреза – на северо-западе Кемеровской области (рис. 1).

Почвенные профили имеют автоморфный характер, не переувлажняются за счет стока грунтовых или поверхностных вод и залегают в условиях плакорного рельефа, обеспечивающего сток и дренаж. Почвы рассматриваемого региона имеют промывной водный режим [6, 7], что не способствует накоплению больших количеств карбонатных новообразований в почвах. Можно сказать, что педогенные карбонаты почвенного профиля в переходных горизонтах к почвообразующей породе (BC) и в почвообразующей породе (C) проявляются в различных формах.

Подробное морфологическое описание заложенных разрезов и определение их классификационного положения проведены в соответствии с «Классификацией и диагностикой почв России» [8]. Определение концентраций породообразующих оксидов методом ИСП-АЭС в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» в Томском государственном университете. Мезоморфологическое строение образцов, отобранных из карбонатных горизонтов, изучено под биноклем. Состав и микроморфологическое строение карбонатных новообразований были изучены с помощью аналитического комплекса сканирующего электронного микроскопа (РЭМ) TESCAN Mira III LMU в сочетании с усовершенствованной системой анализа элементного состава AZTEC ADVANCED на базе энергодисперсионного детектора Ultimex Max 40 в Томском региональном центре коллективного пользования ТГУ.

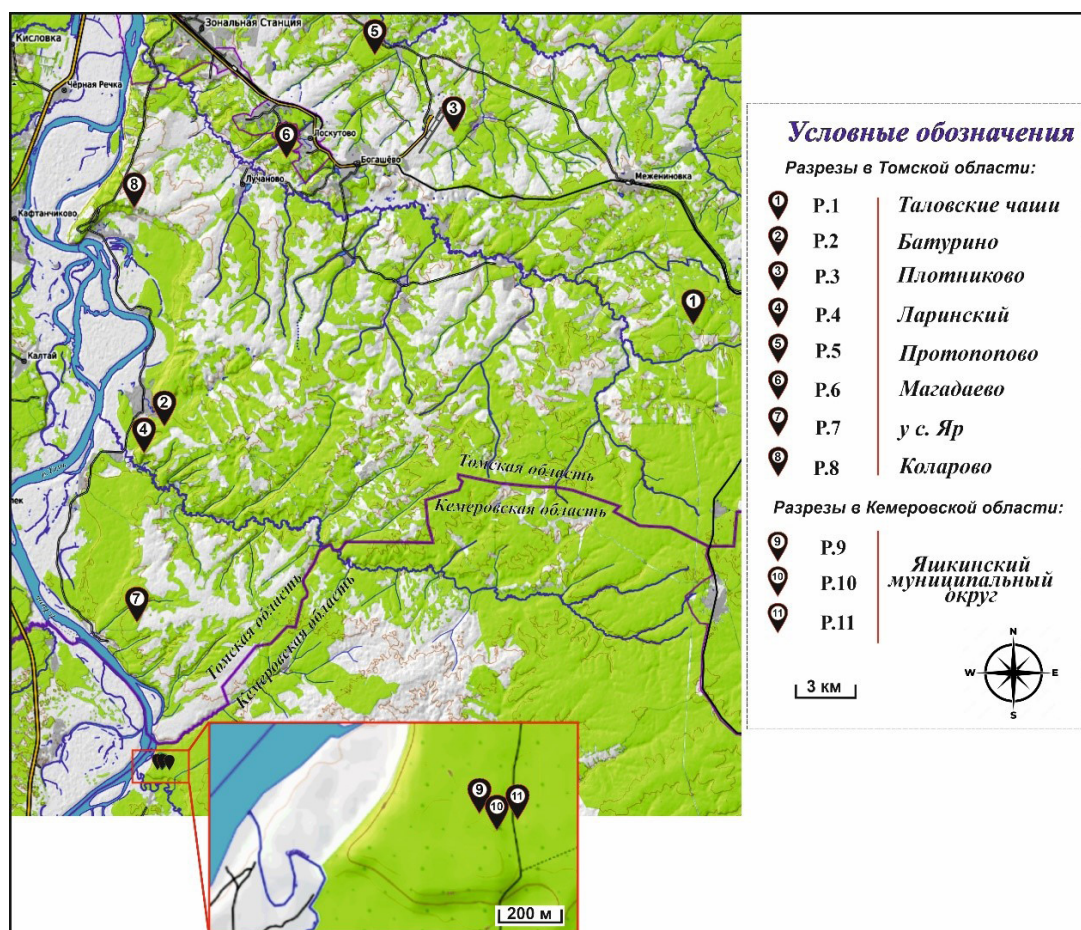


Рис. 1. Исследуемая территория и расположение изученных почвенных профилей

Fig. 1. The territory under study and the objects on which the soil sections are laid

Результаты исследования и их обсуждение

В пределах двухметровой почвенной толщи наблюдается значительное разнообразие в распределении карбонатов в изучаемых почвах (рис. 2). В карбонатных горизонтах автоморфных почвенных профилей, заложенных на юго-востоке Томской области, минимальное содержание CaO составляет 1,8 – 2,6 %, среднее содержание CaO – 3,0 – 4 %, линия вскипания (реакция взаимодействия с 10 %-HCl) находится на глубине 130 см. Максимальное содержание CaO – 5 – 6 % (пиковая линия) обнаруживается на глубине 150 см от поверхности почвы. Данный показатель еще выше в почвенных профилях, заложенных на севере Кемеровской области, то есть среднее содержание CaO составляет 6 %, линии вскипания находится на глубине 120 см, пиковая линия на глубине 140 см (от поверхности почвы), CaO достигает до 7,3 %.

Анализ распределения карбонатов кальция (CaO) в почвенных профилях Томской и Кемеровской областей показывает четкие региональные различия и закономерности вертикального распределения (рис. 3А). Предыдущие исследования [6, 9] в этом районе предполагали, что карбонаты в рассматриваемых почвах связаны с унаследованностью от карбонатных почвообразующих пород. Более высокая концентрация карбонатов и меньшая глубина их залегания в Кемеровской области по сравнению с Томской областью свидетельствуют о менее интенсивном развитии процессов выщелачивания на юге региона, так как глубина залегания карбонатов связана с интенсивностью этого процесса [13, 17, 18]. Подобный характер распределения

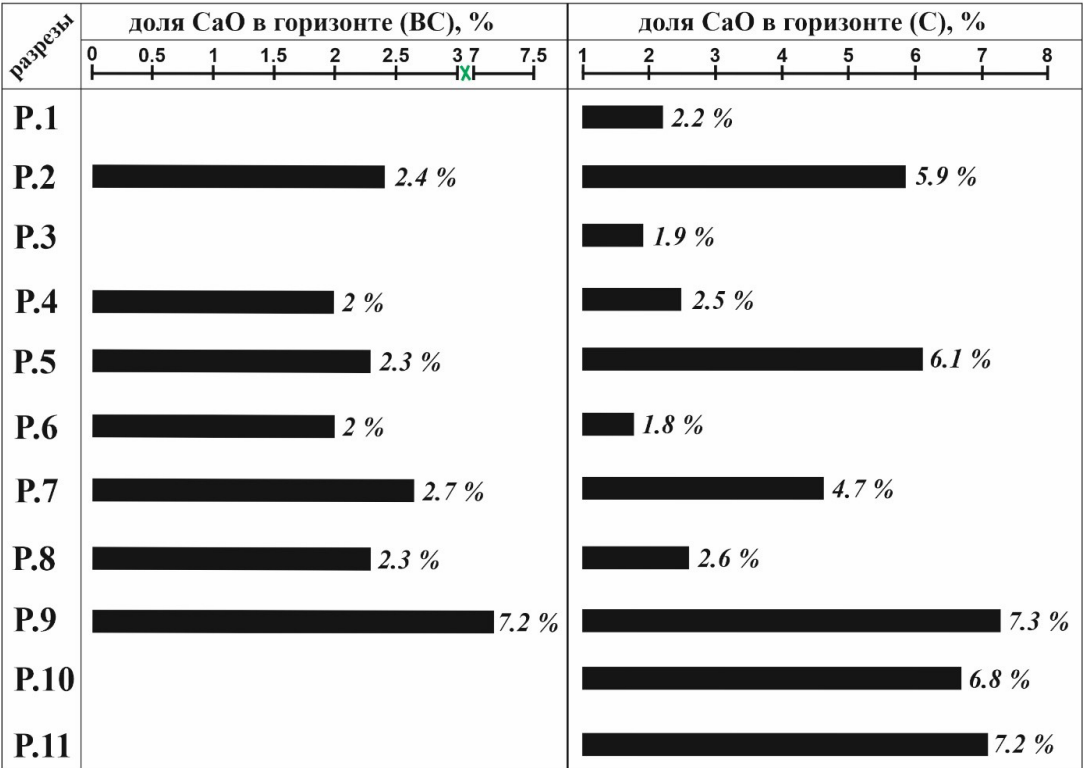


Рис. 2. Доля СаО % в химическом составе исследуемых образцов почвы

Fig. 2. The percentage of СаО % in the chemical composition of the studied soil samples

карбонатов связан с их перераспределением в ходе позднеплейстоценовых и голоценовых этапов почвообразования [2, 16]. Ниже рассмотрим факторы, которые определяют глубину карбонатных горизонтов в почвенном профиле.

Наибольшее количество карбонатов содержится в засушливых почвах, где мало осадков и высокая потенциальная испаряемость значительно ограничивают растворение и выщелачивание карбонатов из почвы [18]. Количество неорганического углерода в почве уменьшается с ростом количества осадков. Таким образом, среднегодовые осадки контролируют глубину выщелачивания и накопления карбонатов. Накопление карбонатов вблизи поверхности почвы (до 50 см) является обычным явлением при осадках <500 мм. В исследованиях, проведенных учеными [13, 18], анализ взаимосвязи между количеством осадков в почве и содержанием неорганического углерода показал четкую закономерность распределения карбонатов в зависимости от климатических условий (рис. 3В).

В подтаежных почвах Западной Сибири Томской области современный уровень атмосферных осадков опускается до 568 мм, а в Кемеровской области осадки достигают 505 мм [10]. Согласно рисунку 3 В, теоретически глубина карбонатного горизонта должна соответствовать в Томской области 70-80 см, а в Кемеровской области 60-70 см от поверхности почв. Фактически же верхняя граница карбонатного горизонта Томской области залегает на глубине среднего 130-140 см, что соответствует осадкам в 650-700 мм. В Кемеровской области карбонатный горизонт залегает на глубине среднего 120-130 см, что соответствует осадкам в 600-650 мм (рис. 3С).

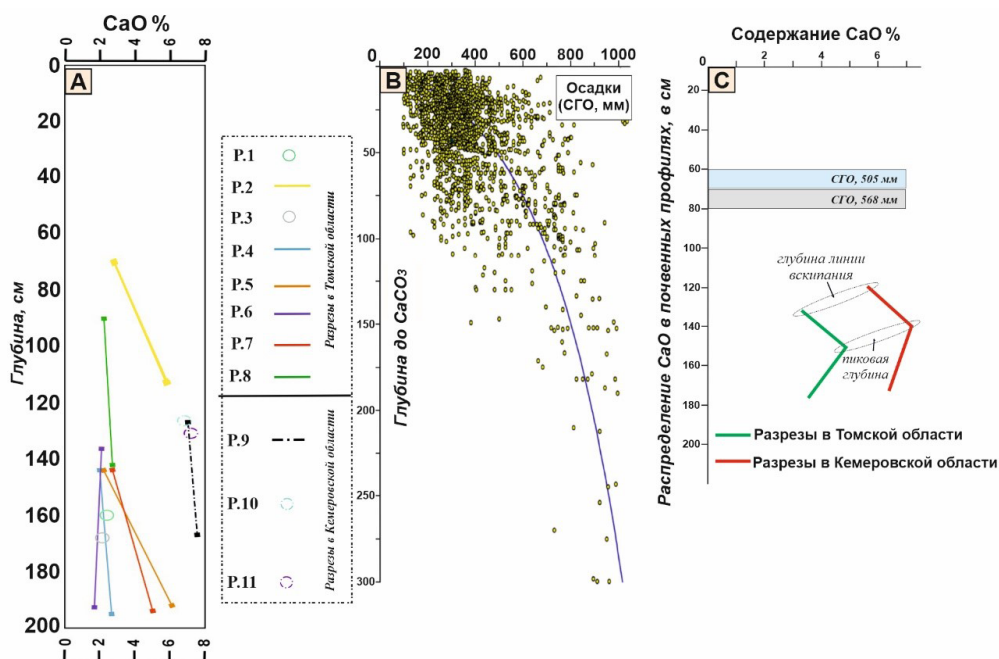


Рис. 3. Зависимость глубины карбонатообразования в почвах от количества осадков.

А – С – распределение карбонатов в горизонтах (BC, C) исследуемых почв; В – корреляция между среднегодовым количеством осадков (СГО) и верхней глубиной почвенного карбонатного горизонта по данным [18]

Примечание: Прямоугольники на рисунке С указывают на теоретическую глубину залегания карбонатных горизонтов при нынешнем уровне атмосферного осадка: голубые – Кемеровская область; серые – Томская область

Fig. 3. The dependence of the depth of carbonate formation in soils on the amount of precipitation.

А – С is the distribution of carbonates in the horizons (BC, C) of the studied soils; В is the correlation between the average annual precipitation and the upper depth of the soil carbonate horizon according to [18]

Note: The rectangles in figure C indicate the theoretical depth of the carbonate horizons at the current level of atmospheric precipitation: blue – Kemerovo region; gray – Tomsk region

Результаты анализов показывают, что глубина залегания карбонатного горизонта в подтаежных почвах Западной Сибири сформировалась при более влажных условиях, чем современные. Это подтверждается значительным превышением фактической глубины над теоретической, рассчитанной по современному уровню атмосферных осадков. Современный гидротермический режим [6, 7, 10] не способствует дальнейшему углублению карбонатного горизонта, а лишь поддерживает уже сформировавшийся почвенный профиль.

Микрорельеф (не превышает в поперечнике и в высоту нескольких метров) разреза почвы также может определить локализацию карбонатного горизонта. Форма микрорельефа напрямую влияет на сохранение и распределение карбонатов в почвенном профиле [6].

Большинство карбонатных горизонтов (P.2, P.5, P.7, P.9, P.10, P.11) приурочены к возвышенным формам рельефа, в которых обеспечиваются идеальные условия для быстрого стока воды, что, в свою очередь, предотвращает глубокое выщелачивание карбонатов из почвенного профиля (рис. 4). В почвенных разрезах, расположенных на склоне или ниже по микрорельефу (P.1, P.3, P.4, P.6, P.8), содержание карбонатных новообразований крайне низкое. Это может быть результатом глубокого выщелачивания карбонатных горизонтов из почвенного профиля.

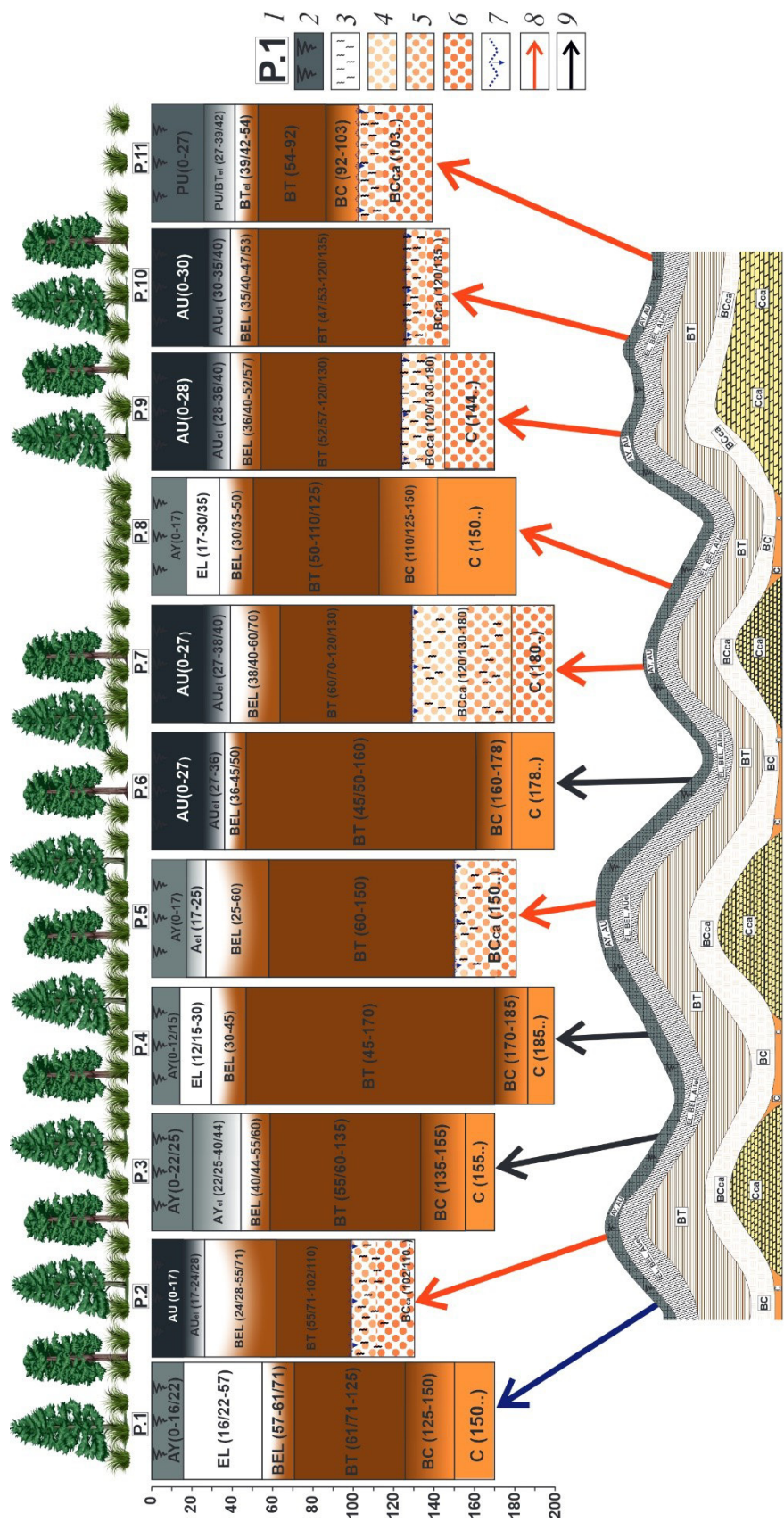


Рис. 4. Условная группировка изученных почв по формам микро рельефа, на которых они сформированы

Примечание: 1 – коды почвенного разреза; 2 – гумусовые горизонты почв; 3 – карбонатные гипокосты; 4 – слабокарбонатная; 5 – среднекарбонатная; 6 – сильнокарбонатная; 7 – граница вскипания от HCl; 8 – карбонатные почвенные профили; 9 – бескарбонатные почвенные профили

Fig. 4. A conditional grouping of the studied soils according to the microrelief forms on which they are formed

Note: 1 – soil section codes; 2 – humus horizons of soils; 3 – carbonate hypocostrans; 4 – low carbonate; 5 – medium carbonate; 6 – high carbonate; 7 – boiling point from HCl; 8 – carbonate soil profiles; 9 – carbonate-free soil profiles

Генезис педогенных карбонатов включает в себя различные процессы: осаждение при движении почвенных растворов вверх по профилю в холодные и сухие сезоны, химическое осаждение из минерализованных грунтовых вод [15], перекристаллизация литогенных карбонатов, унаследованных от почвообразующих пород, и биогенные процессы, включая жизнедеятельность бактерий. Именно пути формирования и трансформации карбонатных новообразований определяют их морфологический облик [4].

При анализе форм карбонатных новообразований в почвах подтаежной зоны Западной Сибири основной и отмеченной на всех карбонатных почвенных разрезах формой были гипокутаны. Карбонатные новообразования этой формы встречаются в разрезах (P.2, P.5, P.7, P.9, P.10, P.11) и формируются вблизи верхней линии карбонатного горизонта, вокруг корневых каналов. Гипокутаны образуются в результате проникновения воды в почвенную матрицу и быстрого осаждения CaCO_3 вокруг крупных и средних пор почвы. Быстрое осаждение карбонатов – обычное явление из-за сильного снижения концентрации CO_2 в этих порах по сравнению с микропорами [11, 12, 17, 18].

При увеличении видно (рис. 5A, B, C, D), что часть гипокутан имеет внутреннюю полость, что позволяет рассматривать их генезис как результат заполнения волосяных пор карбонатами, выпадающими из растворов, как поступающими из вышележащих горизонтов профиля (модель *perdescendum*), так и за счёт подтягивания при иссушении, капиллярных растворов к стенкам крупных пор (модель *regascendum*). Существует ещё одно предположение [11], объясняющее их формирование деятельностью корневой системы растений: быстрое поглощение влаги корнями обуславливает интенсивную кристаллизацию карбонатов из растворов. Эта гипотеза объясняет форму данных новообразований, которые часто образуют как бы чехол вокруг отмерших корней. Эта форма была отмечена в разрезе почвы, заложенном в лесном массиве у с. Яр (P.7). Когда корни растений активно поглощают влагу из почвы, растворенные вещества, такие как карбонаты, могут оставаться в растворе. При быстром высыхании или изменении условий

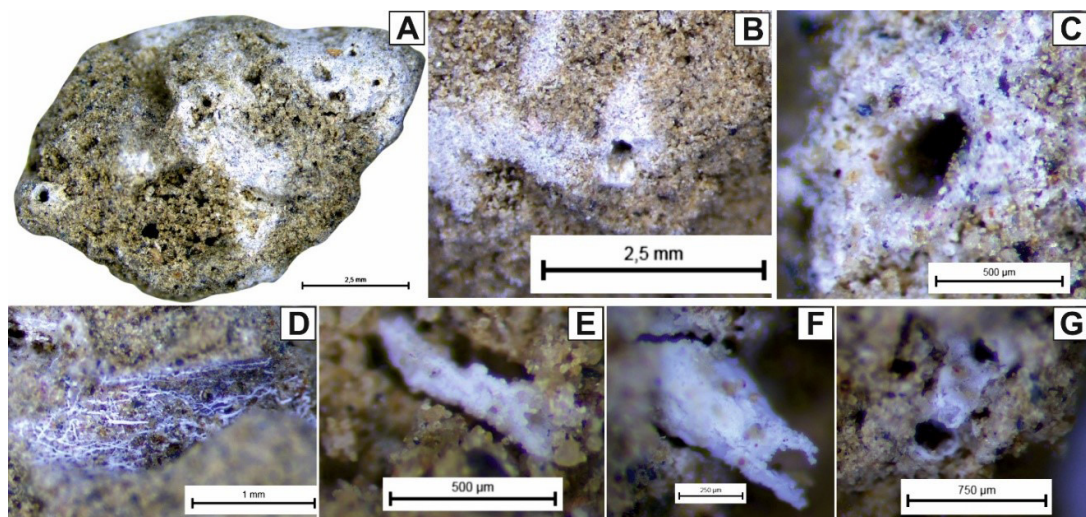


Рис. 5. Морфология гипокутан в изучаемых почвах

Примечание: А-В-С-Д – агрегаты кальцита вокруг корневых каналов; Е-Г – чехол вокруг отмерших корней из мелкозернистого кальцита. Почвенный горизонт: А – P.10 (120-130); В – P.5 (150-180); С – P.2 (110-120); D – P.9 (150-170) Е-Г – P.7 (180-200). Фотографии под бинокляром

Fig. 5. Morphology of hypocotyles in the studied soils

Note: A-B-C-D are calcite aggregates around root canals; E-F-G is a cover around dead roots made of fine-grained calcite. Soil horizon: A – P.10 (120-130); B – P.5 (150-180); C – P.2 (110-120); D – P.9 (150-170) E-F-G – P.7 (180-200). Photos under binoculars

(например, повышении температуры) эти вещества начинают кристаллизоваться. Подобные процессы чаще всего наблюдаются в условиях, где почва имеет высокую концентрацию карбонатов. Кроме того, активная деятельность корней может изменять местные условия влажности и pH, что также способствует кристаллизации кальцита. На рисунке 5E,F,G показаны формы карбонатных новообразований, которые возможно образовались в результате вышеупомянутых процессов.

Субмикроморфологическое строение: гипокутаны обычно состоят из микритовых и микро-спаритовых кристаллов, формируются в результате постепенного осаждения из коллоидного раствора при оптимальных концентрациях ионов кальция. Размер агрегатов составляет до 30 мкм (рис. 6A). На РЭМ-снимках можно увидеть большое количество игольчатых карбонатных

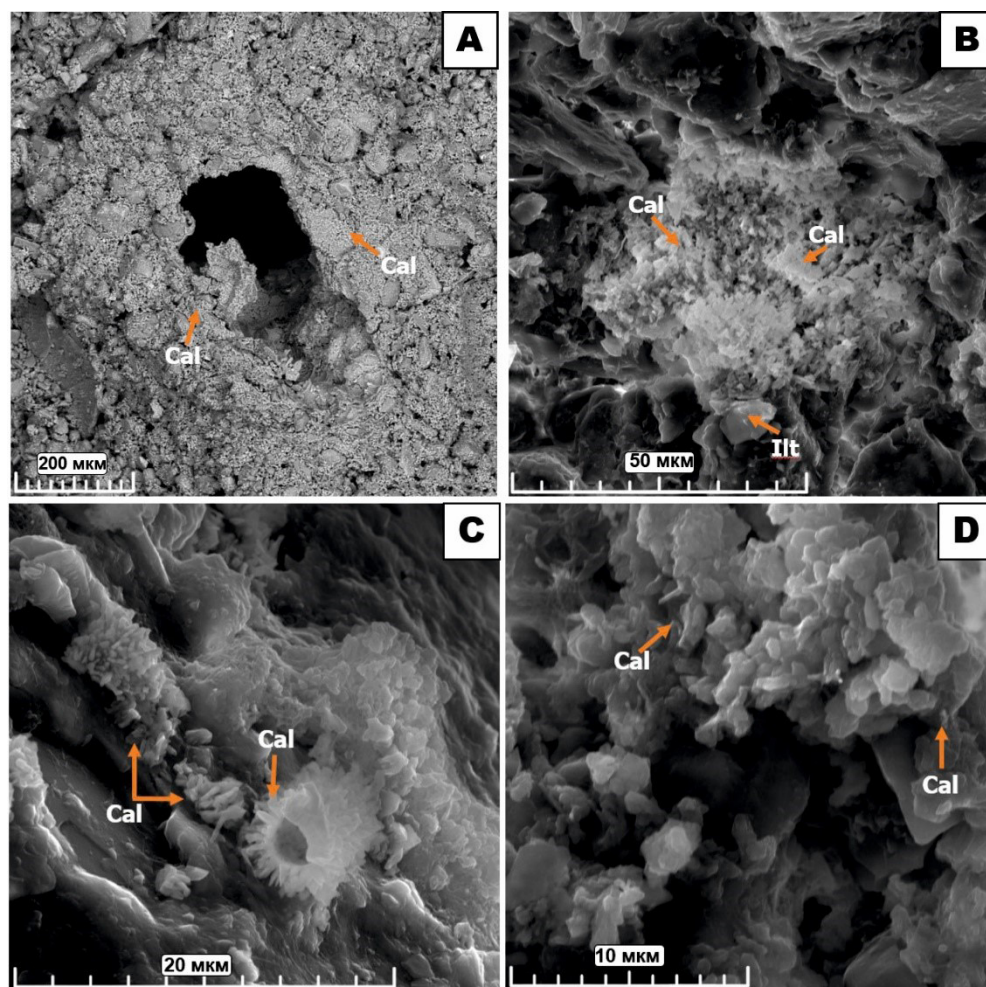


Рис. 6. Строение и состав гипокутан в изучаемых почвах

Примечание: А – строение карбонатной пленки вокруг корневого канала; В – микростроение агрегатов кальцита в гипокутанах; С – пластинчатые и игольчатые кристаллики кальцита на поверхности коллоидной пленки вокруг микропоры; D – субпараллельная ориентировка пластинчатых кристаллов кальцита. Почвенный горизонт: А – P.2 (110-120); В – P.10 (120-130); C-D – P.11 (110-130). Снимки РЭМ сделаны в режиме BSE (A), SE (B, C, D). Условные обозначения: Cal – кальцит, Ilt – иллит (тонкие чешуйки)

Fig. 6. Structure and composition of hypocutanes in the studied soils

Note: A – the structure of the carbonate film around the root canal; B – the microstructure of calcite aggregates in hypocutanes; C – is on the surface of a collomorphic film with individual calcite crystals; D – is the subparallel orientation of lamellar calcite crystals. Soil horizon: A – P.2 (110-120); B – P.10 (120-130); C-D – P.11 (110-130). The REM images were taken in BSE (A) and SE (B, C, D) mode. Symbols: Cal – calcite, Ilt – illite (thin flakes)

кристаллов, что свидетельствует о том, что коллоидный раствор часто насыщен и перенасыщен солями кальция (рис. 6B). Кроме того, встречаются кристаллики кальцита пластинчатой формы (толщиной менее 1 мкм внутри агрегатов ориентированы субпараллельно), как в виде отдельных агрегатов (рис. 6C), так и в виде кристалломорфной пленки вокруг пор (рис. 6D). Развитие таких структур требует стабильных условий осаждения и относительно низкой степени насыщенности раствора.

В карбонатных горизонтах изучаемых почв следующей наиболее распространенной формой карбонатных новообразований являются биогенные пленки. Микростроение этой формы новообразований изучалась в разрезах (P.2, P.9). Считается, что эти формы образуются непосредственно в результате биологических процессов, при которых удлиненные кристаллы образуются в результате биоминерализации грибов внутри пучков мицелия и впоследствии высвобождаются при распаде органического вещества стенок грибов [11, 12]. Биологическая активность увеличивает концентрацию ионов Ca^{2+} внутри организмов (например, в клеточных стенках растений, в гифах грибов) или снижает её (например, вдоль корней из-за притока массы воды к корню, под гнездами термитов из-за их характерного остаточного скопления) [5, 18].

Биогенные пленки представляют собой агрегаты из игольчатых кристалликов кальцита длиной до 3 мкм, которые нарастают вокруг органических образований, таких как всасывающие корни и гифы грибов (рис. 7).

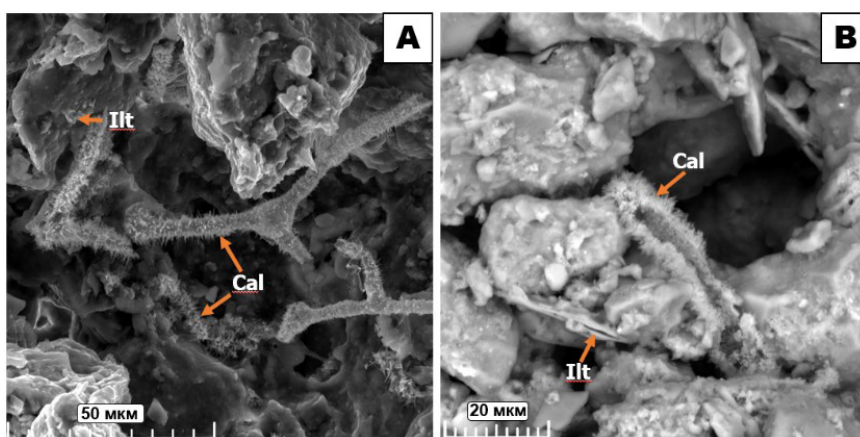


Рис. 7. Строение и состав биогенных карбонатных новообразований в изучаемых почвах

Примечание: А – В – игольчатый кальцит. Почвенный горизонт: А – P.2 (110-120); В – P.5 (150-180). Снимки РЭМ сделаны в режиме SE (А) и BSE (В). Условные обозначения: Cal – кальцит, Ilt – иллит (тонкие чешуйки)

Fig. 7. Structure and composition of biogenic carbonate neoplasms in the studied soils

Note: А – В is needle calcite. Soil horizon: А – P.2 (110-120); В – P.5 (150-180). SEM images were taken in SE (А) and BSE (В) mode. Symbols: Cal–calcite and Ilt–illite (thin flakes)

Заключение

В результате комплексных исследований было выявлено, что на исследуемой территории локализация карбонатных горизонтов различна. Данный процесс контролируется такими факторами как среднегодовое количество осадков и микрорельеф.

Установлено, что в изучаемых почвах, карбонатный горизонт сформировался в более влажных условиях, чем в современных. Действующий гидротермический режим не способствует дальнейшему углублению карбонатного горизонта.

Наблюдаемые закономерности подтверждают важную роль микрорельефа в формировании карбонатных горизонтов: микроповышения создают условия для сохранения карбонатов благо-

даря быстрому стоку воды. Склоны и нижележащие участки характеризуются интенсивным выщелачиванием карбонатов.

В почвах исследуемой территории встречаются карбонатные новообразования различного генезиса – хемогенные, такие как гипокутаны, и биогенные – биопленки, представляющие собой агрегаты из игольчатых кристаллов кальцита.

Таким образом, изучение карбонатных новообразований в почвах требует комплексного подхода, включающего анализ факторов формирования, особенностей строения и состава, что имеет значение для понимания современного состояния почвенного покрова и прогнозирования его изменений. Будущие исследования могут сосредоточиться на влиянии климатических изменений на динамику этих процессов и их последствия для экосистем региона. Это позволит более глубоко понять, как изменения окружающей среды могут воздействовать на устойчивость почвенных систем и их способность поддерживать биологическое разнообразие.

Литература

1. Булышева А.М., Хохлова О.С., Бакунович Н.О. и др. Изменение карбонатного состояния черноземов Приазовья при переходе их из пашни в залежь. *Почвоведение*. 2020;(8):1025–1038. DOI: 10.31857/S0032180X2008002X.
2. Голубцов В.А., Черкашина А.А., Снытко В.А. Первые данные о возрасте и условиях формирования карбонатных новообразований в позднелепестовых и голоценовых почвах Верхнего Приангарья. *Докл. РАН*. 2019; 486(6):727–732. DOI: 10.31857/S0869-56524866727-732.
3. Евсеева Н.С., Петров З.Н., Квасникова А.И. и др. Эрозия почв при снеготаянии в агроландшафтах юга Томской области: факторы развития, интенсивность и динамика. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022;333(3):196–205.
4. Кузнецова А.М., Хохлова О.С. Морфология карбонатных новообразований в почвах различных типов. *Литология и полезные ископаемые*. 2010; (1):99–110.
5. Кузнецова А.М., Хохлова О.С., Остерриет М. Биогенные и хемогенные кальциевые новообразования в моллисолях на лессах Аргентинской Пампы. *Почвоведение*. 2011;(1):82–89.
6. Лойко С.В. Закономерности формирования почвенного покрова предгорных ландшафтов Томь-Яйского междуречья: Дис. канд. биол. наук. Томск: 2012:186.
7. Лойко С.В. *Природные условия западного макросклона Томь-Яйского междуречья: материалы клевой части Первой Всероссийской школы – конференции по лесной экологии «Современные проблемы и методы лесной экологии»* (Томск, 25-30 августа 2013 г.). Лойко С.В., Гераско Л.И., Кулижский С.П. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета; 2013:56.
8. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный ин-т. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
9. Середина В.П., Спирина В.В. *Почвообразование в подтаежной зоне Западной Сибири*. Томск: Изд-во НТЛ; 2011:131.
10. Филандышева Л.Б., Ромашова Т.В., Юркова К.Д. *Географические особенности г. Томска и динамика сезонных ритмов в условиях глобального изменения климата*. Томск: Изд-во Том. ун-та; 2021:254.
11. Barta G. Secondary carbonates in loess-paleosol sequences: a general review. *Centr. Eur. J. of Geosci.* 2011;3(2):129–146.
12. Durand N, Monger HC, Canti MG. Calcium carbonate features / Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Amsterdam: Elsevier. 2010; 149–194.
13. Golubtsov V, Cherkashina A, Khokhlova O. Carbonate profile of soils in the Baikal region: structure, age, and formation conditions. *Eurasian Soil Science*. 2019;52: 1515–1532. <https://doi.org/10.1134/S1064229319120056>.
14. Liu ZH. Is pedogenic carbonate an important atmospheric CO₂ sink? *Chinese Sci Bull*. 2011;56: 3794–3796. doi:10.1007/s11434-010-4288-8.
15. Monger HC, Kraimer RA, Khresat S, et al. Sequestration of inorganic carbon in soil and groundwater. *Geology*. 2015; 43: 375–378.
16. Monger HC. Soils as Generators and Sinks of Inorganic Carbon in Geologic Time. In: Hartemink A, McSweeney K. (eds) *Soil Carbon. Progress in Soil Science*. Springer, Cham. 2014; 27–36. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04084-4_3.

17. Verrechia E.P. Pedogenic carbonates: Encyclopedia of Geobiology. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer. 2011; 721–725.
18. Zamanian K., Pustovoytov K., Kuzyakov Y. Pedogenic carbonates: Forms and formation processes. *Earth-Sci. Rev.* 2016; 157: 1–17.

References

1. Bulysheva A.M., Khokhlova O.S., Bakunovich N.O., et al. The change in the carbonate state of the chernozems of the Azov region during their transition from arable land to fallow land. *Soil Science*. 2020;(8):1025–1038. DOI: 10.31857/S0869-56524866727-732 (in Russian).
2. Golubtsov V.A., Cherkashina A.A., Snytko V.A. The first data on the age and conditions of formation of carbonate neoplasms in the Late Pleistocene and Holocene soils of the Upper Angara region. *Dokl. RAS*. 2019;486(6):727–732 (in Russian).
3. Evseeva N.S., Petrov Z.N., Kvasnikova A.I., et al. Soil erosion during snowmelt in the agricultural landscapes of the south of the Tomsk region: development factors, intensity, and dynamics. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2022;333(3):196–205 (in Russian).
4. Kuznetsova A.M., Khokhlova O.S. Morphology of carbonate neoplasms in soils of various types. *Lithology and minerals*. 2010;(1):99–110 (in Russian).
5. Kuznetsova A.M., Khokhlova O.S., Osterriet M. Biogenic and chemogenic calcium neoplasms in mollisols on loess of the Argentine Pampa. *Soil Science*. 2011;(1):82–89 (in Russian).
6. Loiko S.V. Patterns of formation of the soil cover of the foothill landscapes of the Tom-Yaysky interfluvium. Candidate's dissertation (Biology). Tomsk. 2012:186 (in Russian).
7. Loiko S.V. *Natural conditions of the western macroslope of the Tom-Yaysky interfluvium: materials for the field part of the First All-Russian School-conference on Forest Ecology "Modern problems and methods of forest ecology"* (Tomsk, August 25–30, 2013). Loiko SV, Gerasko LI, Kulizhsky SP. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University; 2013:56. (in Russian).
8. Field soil determinant of Russia. Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Institute; 2008:182 (in Russian).
9. Seredina V.P., Spirina V.V. *Soil formation in the subtaiga zone of Western Siberia*. Tomsk: NTL Publishing House; 2005:284 (in Russian).
10. Filandysheva L.B., Romashova T.V., Yurkova C.D. *Geographical features of Tomsk and the dynamics of seasonal rhythms in the context of global climate change*. Tomsk: Publishing House Vol. University; 2021. 254 p (in Russian).
11. Barta G. Secondary carbonates in loess-paleosol sequences: a general review. *Centr. Eur. J. of Geosci.* 2011;3(2):129–146.
12. Durand N., Monger H.C., Canti M.G. Calcium carbonate features / Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Amsterdam: Elsevier. 2010;149–194.
13. Golubtsov V., Cherkashina A., Khokhlova O. Carbonate profile of soils in the Baikal region: structure, age, and formation conditions. *Eurasian Soil Science*. 2019;52: 1515–1532. <https://doi.org/10.1134/S1064229319120056>.
14. Liu Z.H. Is pedogenic carbonate an important atmospheric CO₂ sink? *Chinese Sci Bull*. 2011;56: 3794–3796. doi:10.1007/s11434-010-4288-8.
15. Monger H.C., Kraimer R.A., Khresat S., et al. Sequestration of inorganic carbon in soil and groundwater. *Geology*. 2015;43: 375–378.
16. Monger H.C. Soils as Generators and Sinks of Inorganic Carbon in Geologic Time. In: Hartemink A., McSweeney K. (eds) *Soil Carbon. Progress in Soil Science*. Springer, Cham. 2014; 27–36. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04084-4_3.
17. Verrechia E.P. Pedogenic carbonates: Encyclopedia of Geobiology. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer. 2011; 721–725.
18. Zamanian K., Pustovoytov K., Kuzyakov Y. Pedogenic carbonates: Forms and formation processes. *Earth-Sci. Rev.* 2016;157: 1–17.

Сведения об авторах

САДИРОВ Мухриддин Шамсиддин угли – магистрант, инженер-исследователь центра коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» геолого-географического факультета, «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск, Российская Федерация

E-mail: sadirovmuhriddin02@gmail.com

ТУРОБОВ Элдор Шавки угли – магистрант, инженер-исследователь центра коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» геолого-географического факультета, «Национальный исследовательский Томский государственный университет» г. Томск, Российская Федерация

E-mail: turoboveldor@gmail.com

About the authors

M. Shamsiddin ugli SADIROV – Master’s student, research engineer, Center for Collective Use “Analytical Center for Geochemistry of Natural Systems”, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia)

E-mail: sadirovmuhriddin02@gmail.com

E. Shavki ugli TUROBOV – Master’s student, Research Engineer, Center for Collective Use “Analytical Center for Geochemistry of Natural Systems”, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia)

E-mail: turoboveldor@gmail.com

Вклад авторов

Садиров М. Ш. – разработка концепции, методология, верификация данных, проведение статистического анализа, проведение исследования, ресурсное обеспечение исследования, визуализация

Туробов Э. Ш. – методология, проведение исследования, ресурсное обеспечение исследования

Authors contribution

Sadirov M. Sh. – conceptualization, methodology, validation, formal analysis, investigation, resources, visualization.

Turobov E. Sh. – methodology, investigation, resources.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest

Поступила в редакцию / Submitted 17.03.25

Принята к публикации / Accepted 16.04.25

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ БУЯГИНСКОЙ ПЛОЩАДИ

А.А. Свинобоев, А.И. Сивцев*, М.И. Карпова

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

*maraday@yandex.ru

Аннотация

В настоящей работе предпринята попытка подсчета запасов углеводородов продуктивных пластов Буюгинской площади глубокого бурения. Приведены краткие сведения о литолого-стратиграфическом разрезе и тектоническом строении Буюгинской структуры, выделенной на западной части Сунтарского поднятия Сибирской платформы. На основе истории развития региона отмечены зональные и участковые особенности перспективного харыстанского горизонта венда. Представлены результаты испытания скважин в интервалах залегания харыстанского и осинского продуктивных горизонтов. На основе полученных данных в ходе пробной эксплуатации залежи харыстанского продуктивного горизонта сделана оценка запасов газа по методу падения давления. Сделан вывод о низком потенциале газовой залежи харыстанского горизонта в пределах изучаемой площади. По промыслово-геофизическим данным обоснованы подсчетные параметры для осинского горизонта и осуществлен подсчет запасов нефти и газа объемным методом. Расчетным путем показано, что запасы Буюгинской площади по действующей классификации запасов могут быть отнесены к мелким. Приведены результаты поисково-разведочных работ на территории сочленения Вилючанской седловины и Предпатомского регионального прогиба, показывающие высокие перспективы харыстанского горизонта в региональном плане. На основе проведенных исследований сделано предположение, что харыстанский горизонт может быть распространен в пределах авлакогенов, выполняющих узкие и протяженные отрицательные структуры кристаллического фундамента северо-восточного простирания вдоль северо-западного и юго-восточного склонов Сунтарского поднятия. Аналогичные зоны нефтегазоаккумуляции могут быть развиты по склонам Арбайско-Синского вала. Предложены альтернативные пути по монетизации имеющихся газовых ресурсов Буюгинского перспективного месторождения.

Ключевые слова: Буюгинская площадь, Сунтарское поднятие, харыстанский горизонт, осинский горизонт, газопроявление, нефтепроявление, оценка запасов, перспективы нефтегазоносности.

Для цитирования: Свинобоев А.А., Сивцев А.И., Карпова М.И. Оценка запасов углеводородов Буюгинской площади. *Вестник СВФУ*. 2025;(2): 40-54. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-40-54

Original article

ASSESSMENT OF HYDROCARBON RESERVES
OF THE BUYAGINSKAYA AREA

Alexey A. Svinoboev, Alexey I. Sivtsev*, Marya I. Karpova

M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

*maraday@yandex.ru

Abstract

This paper attempts to calculate hydrocarbon reserves in productive formations of the Buyaginskaya deep drilling area. Brief information on the lithologic-stratigraphic section and tectonic structure of the Buyaginskaya structure, which is located in the western part of the Suntar uplift of the Siberian Platform, is given. Zonal and sectional features of the prospective Kharystan Vendian horizon are noted based on the history of the region's development. The results of well testing in the intervals of occurrence of Kharystan and Osinsk productive horizons are presented. On the basis of the data obtained during the trial operation of the Kharystan productive horizon deposit, the reserves were estimated by the pressure drop method. The conclusion was made about low

potential of the Kharystan horizon gas deposit within the studied area. Based on field geophysical data, the calculation parameters for the Osinsk horizon were substantiated and oil and gas reserves were calculated using the volumetric method. It is shown by calculation that the reserves of the Buyaginskaya area can be classified as shallow according to the current reserves classification. The results of prospecting and exploration works in the area of the junction of the Vilyuchanskaya saddle and the Predpatomsky regional trough, showing high prospects of the Kharystan horizon in the regional plan, are presented. On the basis of the conducted studies, it is suggested that the Kharystan horizon may be distributed within the avlacogens, which are narrow and extended negative structures of the crystalline basement of northeastern strike along the northwestern and southeastern slopes of the Suntar uplift. Similar zones of oil and gas accumulation may be developed along the slopes of the Arbaisko-Sinskiy rampart. Alternative ways to monetize the available gas resources of the Buyaginskoye prospective field were proposed.

Keywords: Buyaginskaya area, Suntar uplift, Kharystan horizon, Osinsky horizon, gas show, oil show, reserve assessment, oil and gas potential

For citation: Svinoboev A.A., Sivtsev A.I., Karpova M.I. Assessment of hydrocarbon reserves of the Buyaginskaya area. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*. 2025;(2): 40–54 (in Russian) DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-40-54

Введение

В настоящее время в связи развитием технологий и расширением областей применения газового сырья освоение даже небольших по запасам газовых месторождений может представлять экономический интерес. На территории Республики Саха (Якутия) во многих поисково-разведочных площадях установлены промышленные и полупромышленные притоки нефти и газа без факта установления открытия месторождения [1]. Основными причинами не постановки на государственный баланс запасов таких скоплений являлись недостаточная изученность, незначительные дебиты скважин и небольшой потенциал запасов. Среди них по масштабам проявления и благоприятному территориальному расположению выделяется Буягинское газопроявление. Зачастую, факты получения промышленных притоков газа на Буягинской площади глубокого бурения во многих публикациях выступают лишь в качестве прямого признака нефтегазоносности склонов Сунтарского поднятия [2-6]. Хотя, в некоторых публикациях уже упоминается Буягинское газоконденсатное месторождение [7] до настоящего времени не принимались попытки оценить запасы залежей углеводородов в пределах Буягинской площади.

Материалы и методы

Материалами исследования послужили геолого-геофизические и промысловые данные полученные в результате сейсморазведочных работ (карты, схемы и разрезы) и глубокого бурения скважин (каротажные кривые, результаты испытаний). Основными методами исследования явились детерминистический, вероятностный и способ аналогий.

Геологическое строение и нефтегазоносность

В тектоническом плане Буягинская площадь расположена на западном склоне Сунтарского поднятия – структуры 1 порядка Сибирской платформы (рис. 1). Сунтарское поднятие представляет собой крупный горст, имеющий в плане овальную форму, вытянутую в северо-восточном направлении на 220 км при ширине около 80 км.

Юго-восточный и северо-западный склоны погружаются достаточно резко по серии региональных субпродольных разломов. Северо-восточный и юго-западный склоны имеют относительно пологое погружение по поверхности фундамента. Здесь, на основе материалов сейсморазведочных работ последних лет обоснованы благоприятные для накопления УВ структуры выклинивания [8, 9].

Вскрываемый разрез на Буягинской площади является характерным для Непско-Ботуобинской антеклизы и представлен терригенно-карбонатными отложениями венда и галогенно-карбонатными отложениями нижнего кембрия [10]. В таблице 1 представлен литолого-стратиграфический разрез Буягинской площади по результатам глубокого бурения.

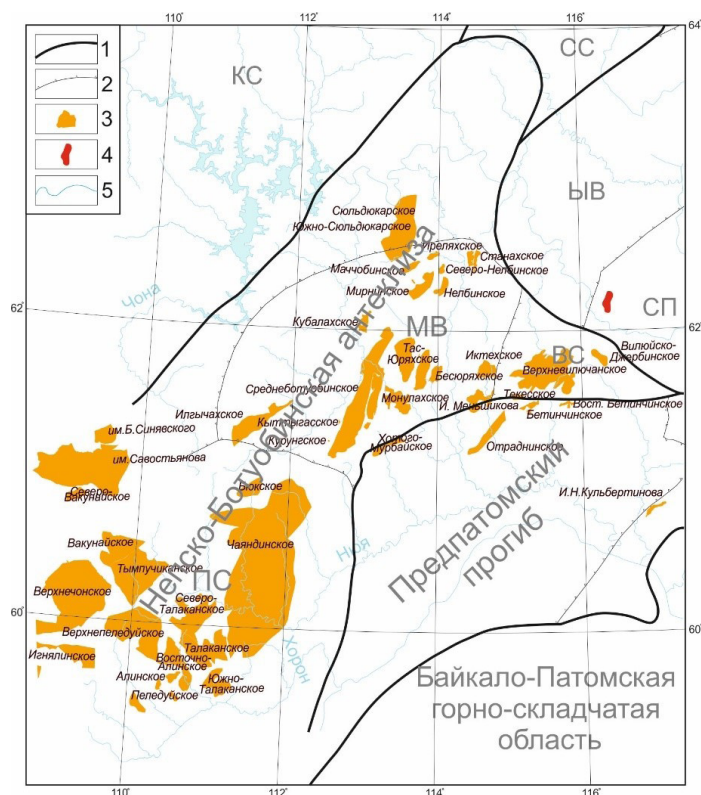


Рис. 1. Обзорная схема месторождений нефти и газа Западной Якутии

Условные обозначения: 1 – границы надпорядковых структур, 2- границы структур 1 порядка, 3 – месторождения нефти и газа, 4 – Буягинская площадь, 5 – гидросеть; КС – Курейская синеклиза, СС – Сюгджерская седловина, ЫВ – Ыгыаттинская впадина, ПС – Пеледуйский свод, МВ – Мирнинский выступ, ВС – Вилочанская седловина.

Fig. 1. Overview scheme of oil and gas fields in Western Yakutia

Symbols: 1 – superstructural boundaries, 2- 1st order structure boundaries, 3 – oil and gas fields, 4 – Buyaginskaya area, 5 – hydronet. Letter designations: KS – Kure syneclyse, SS – Syugger saddle, SU – Suntar uplift, YD – Ygyatta Depression, PV – Peledoi Vault, ML – Mirny ledge, VS – Vilyuchanskaya saddle

Буягинская структура входит в состав одноименной антиклинальной складки, которая генетически связан с Нюрбинской зоной разломов (рис. 2). Простираение ее на большей части субмеридиональное и лишь северная периклиналь разворачивается к северо-востоку по направлению Нюрбинского разлома, повторяя тем самым очертания Сунтарского поднятия. Восточное крыло Буягинской складки прислонено к разлому, отделяющему ее от присводовой части Сунтарского поднятия. Указанное нарушение трассируется в субмеридиональном направлении, амплитуда его изменяется по простираению и колеблется от 100-120 м до 700 м. Шарнир складки полого погружается в север-северо-восточном направлении и на всём своём протяжении ундулирует. Сводовая часть широкая и плоская. Крылья складки ассиметричны: западное – сравнительно крутое, углы наклона венд-кембрийских пород достигают 4-5°, а восточное – короткое и пологое (2-3°). Оба крыла характеризуются частыми пережимами, что в сочетании с ундуляцией шарнира приводит к обособлению на различных гипсометрических уровнях локальных сводов.

Собственно, Буягинская структура включает два наиболее приподнятых свода в южной половине одноименной антиклинали, расположенных в пределах одной замыкающей изогипсы – 1700 м (отражающий горизонт КВ). Размеры структуры составляют 21×6 км, площадь 86 км², амплитуда 100 м.

Таблица 1

Литолого-стратиграфический разрез

Table 1

Lithological and stratigraphic section

Система	Отдел	Свита	Лито­логия	h, m
Юрская	нижний	укугутская	Пески, песчаники, галечники, конгломераты, глины и аргиллиты.	181-201
	средний	мететерская	Доломиты и известняки с прослоями гипса-ангидритовых пород и аргиллитов.	60
	нижний	ичерская	Водорослевые известняки с подчиненными прослоями доломитов.	53-55
		чарская	Переслаивание доломитов, известняков, ангидритов, мергелей, аргиллитов.	120-134
		олекминская	Доломиты и известняки битуминозные.	93-119
		тобачанская в.	Переслаивание доломитов, известняков с прослоями аргиллитов, мергелей, ангидритов.	143-197
		тобачанская в.	Доломиты с прослоями известняков	104-127
		эльгянская	Доломиты, известковистые доломиты и известняки	67-70
		нелбинская	Доломиты с редкими прослоями известняков и аргиллитов.	63-74
		юрегинская	Переслаивание доломитов, известняков, мергелей, ангидритов, аргиллитов и солей.	194-223
Кембрийская		билирская в.	Известняки с подчиненными слоями доломитов и мергелей	46-56
		билирская н.	Доломиты с тонкими прослоями аргиллитов. В верхней части известняки доломитистые	30-35
		юрякская в.	Доломиты с тонкими прослоями аргиллитов. В верхней части известняки доломитистые	69-75
		юрякская н.	Доломиты с прослоями известняков	23-27
		Кудулахская	Доломиты и доломит-ангидриты	133-147
		успунская	Доломиты с прослоями доломитовых мергелей и аргиллитов, песчаными доломитами.	103-109
	верхний	Бюкская в.	Ангидритизированные доломиты с прослоями аргиллитов, мергелей и ангидритов	222-242
		бюкская н.	Переслаивание алевролитов и аргиллитов.	5-7
		Харыстанская	Переслаивание алевролитов, аргиллитов и песчаников.	15-28
		Ынахская	Глинистые доломиты и аргиллиты	66-72
Вендская		Бесоряхская	Доломиты и известняки	80-92
		Талахская	Алевролиты и аргиллиты с прослоями песчаников. Имеются прослой карбонатов.	85-98
		Хоронохская	Песчаники с прослоями алевролитов и аргиллитов	37-38
		Бетинчинская	Песчаники, алевролиты и аргиллиты	17-38
	нижний	Фундамент		

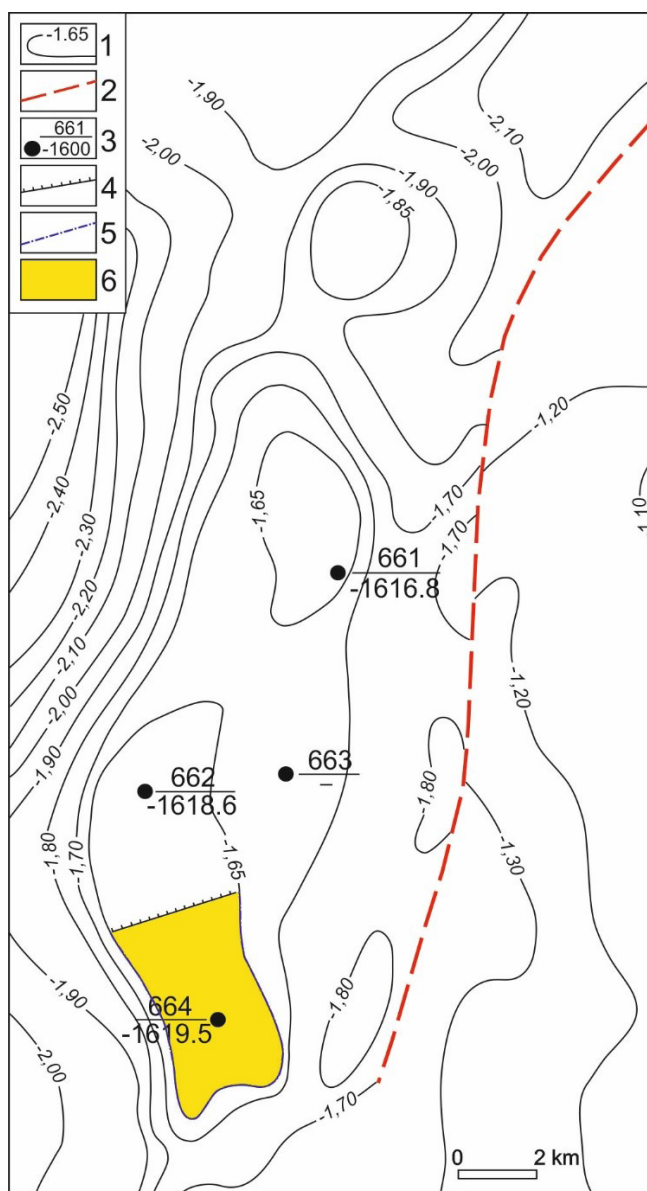


Рис. 2. Буягинская структура по кровле харыстанской свиты венда

Условные обозначения: 1 – изолинии кровли терригенных отложений венда, 2 – тектонические нарушения, 3 – скважины (номер/глубина вскрытия харыстанской свиты), 4 – условная линия выклинивания коллекторов харыстанского горизонта, 5 – условный газоводяной контакт, 6 – залежь газа харыстанского горизонта.

Fig. 2. Buyaginskaya structure on the roof of the Vendian Kharystan suite

Symbols: 1 – isolines of the roof of the Vendian terrigenous deposits, 2 – tectonic faults, 3 – wells (number/depth of penetration of the Kharystan suite), 4 – conventional line of wedging out of the Kharystan horizon reservoirs, 5 – conventional gas-water contact, 6 – gas deposit of the Kharystan horizon.

Отдельные своды в её пределах обособляются на уровне – 1650 м, образуя незначительный по размерам северный купол и относительно крупный южный. Купола соответственно, разделяются между собой небольшой седловиной. На территории Буягинской структуры развит трапповый магматизм фиксируемый в скважине № 663 в разрезе верхнебюкской свиты. Достоверно

установленные залежи газа приурочены структурно-литологическим ловушкам. Промышленные притоки газа получены из харыстанского и осинского продуктивных горизонтов.

Харыстанский продуктивный горизонт приурочен к терригенным отложениям харыстанской свиты венда, перекрывающей с угловым несогласием ынахскую толщу. В региональном плане продуктивный горизонт прослеживается узкой (5-15 км) полосой общего северо-восточного простирания: от юго-восточного склона Мирнинского свода через осевую часть Вилючанской седловины к Сунтарскому поднятию.

Харыстанский горизонт относительно хорошо изучен в пределах Верхневилючанского нефтегазоконденсатного месторождения, где открыты нефтегазовые залежи [11].

Здесь он представлен на значительной площади чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов. Пачка аргиллитов верхней части харыстанской свиты (толщиной до 20 м), вместе с толщей вышележающих карбонатных пород бюксской свиты является зональным флюидоупором среднего качества для харыстанского продуктивного горизонта. Отмечается линзовидное строение зон улучшенных коллекторов харыстанского горизонта.

На Буягинской площади харыстанский горизонт распространен не повсеместно. В скв. № 661 и 662 отложения, слагающие харыстанскую свиту, представлены плотными и глинистыми породами, не обладающими коллекторскими свойствами. Только в скважине № 664 установлены 3 газонасыщенных пласта с улучшенными ФЕС и суммарной эффективной толщиной 4,6 м. Практически абсолютные глубины вскрытия харыстанской свиты во всех поисковых скважинах на Буягинской площади одинаковы. Появление в скв. № 664 газонасыщенного харыстанского горизонта связано не со структурными условиями его вскрытия, а с наличием литологической ловушки.

Присутствие рифейских осадков и значительные толщины бетинчинской свиты в некоторых скважинах соседней Вилуйско-Джербинской площади свидетельствует о существовании в рифее и начале венда узкого грабенообразного прогиба северо-западного простирания, по которому в дальнейшем, видимо, и заложилась граница Сунтарского поднятия и Вилючанской седловины.

На Буягинской площади терригенный состав осадков бетинчинской, хоронохской и талахской свит свидетельствует о накоплении их в мелководных прибрежных условиях. Разрез талахской свиты, сложенный глинистыми отложениями с единичными прослоями карбонатов, представляет собой трансгрессивную серию. Карбонатный состав осадков бесюряхской и ынахской свит указывает на накопление их в более удаленных от берега морских условиях. В интервале ынахской и бесюряхской свит на территории Верхневилючанского лицензионного участка рисунок сейсмической записи по сравнению с разрезами харыстанской, талахской, хоронохской и бетинчинской свит динамически более выразителен, оси синфазности имеют унаследованный характер по латерали, что характерно для морских отложений [12].

Харыстанское время происходит отступление моря, отлагаются глинистые и песчаные осадки. В это время происходит формирование терригенных осадков, слагающих харыстанский горизонт. По всей видимости, это русловые отложения. Продолжающаяся регрессия привела к перерыву в осадконакоплении и частичной денудации ранее отложившихся осадков. Поэтому харыстанский горизонт сохранился в узких прогибах северо-восточного простирания вдоль северо-западного и, возможно, юго-восточного склонов Сунтарского поднятия.

Затем регрессия сменяется трансгрессией, которая с незначительными отступлениями продолжалась вплоть до предверхоленского перерыва, в ходе которой на территории Буягинской площади частично были эродированы отложения ичерской и метегерской свит. Среднепозднепалеозойское время, территория Сунтарского поднятия представляло денудационное плато. В дальнейшем, по данным глубокого бурения на Буягинской площади, терригенное осадконакопление зафиксировано только в раннеюрское время. Возможно, позднеюрские и меловые осадки, имеющие повсеместное распространение по всей Вилуйской синеклизе, были денудированы на территории Сунтарского поднятия.

Геологическое развитие территории юго-западного склона Сунтарского поднятия была тесно связана с историей развития Вилучанской седловины, т.е. осадконакопление происходило в условиях относительно устойчивого погружения бассейна седиментации. Непрерывный процесс осадконакопления благоприятствовал нефтегазоматеринским толщам реализовать свой генерационный потенциал. Преобладающим предполагается литолого-стратиграфический тип ловушек. Не исключено образование скоплений углеводородов в ловушках сводового и смешанного типов.

Харыстанский горизонт был испытан в эксплуатационной колонне. Получен приток газа дебитом 322,9 тыс.м³/сут на шайбе 11,96 мм. Пластовое давление на глубине 1790 м составило 16,8 МПа. Были проведены исследования на газоконденсатность. При дебите отсепарированного газа 166,3 тыс.м³/сут., дебит дегазированного конденсата составил 3,4 м³/сут. Дебит сырого конденсата 4,5 м³/сут., содержание сырого конденсата 27,3 см³/м³.

В дальнейшем была проведена пробная эксплуатация горизонта в течение 62 суток по затрубному пространству на шайбе 9,98 мм. В начале пробной эксплуатации при забойном давлении 16,84 МПа дебит газа составлял 218,3 тыс. м³/сут., в конце забойное давление упало до 12,9 МПа, дебит газа 177,5 тыс. м³/сут. При закрытии скважины на КВД было установлено длительное восстановление давления – трубное давление от 10,96 МПа восстановилось до 11,10 МПа за 53 часа.

Таким образом, в харыстанском горизонте мы имеем литологически экранированную газоконденсатную залежь. Отмечены падения давления и длительное восстановление статистического давления, что свидетельствует об ограниченности залежи и ухудшении ФЕС пласта-коллектора при удалении от ствола скважины.

На изучаемой площади выше по разрезу установлена нефтегазоносность осинского продуктивного горизонта, который является основным продуктивным горизонтом в ряде месторождений Непско-Ботубинской антеклизы [13, 14].

Здесь верхняя часть осинского горизонта пласт О-II сложена чистыми и глинистыми доломитами, очень плотными. Признаков коллекторов здесь не обнаружено. Нижняя часть осинского горизонта в скв. № 661 и 663 полностью водонасыщена, в скв. № 664 – газонефтенасыщена, скв. № 662 – газонефтеводонасыщена.

В скв. № 662 в кровельной части пласта О-II выделяется ряд разрозненных пропластков с толщинами от 0,4 до 2,0 м, пористость их по нейтронного гамма-каротажа (НГК) оценивается в 13,6-22,7 %, коэффициент нефтегазонасыщенности 58-68 %. При опробовании ИП в процессе бурения пласта получен приток газа дебитом 9,52 тыс. м³/сут на шайбе 8 мм. С уровня отобрана проба нефти. По данным лабораторных исследований нефть характеризуется низкой вязкостью, не содержит твердых УВ, относится к группе легких нефтей. Фракционная разгонка показывает высокую температуру кипения (139°), среднее содержание бензиновых фракций (24 %) и очень высокое количество светлых дистиллятов (81 %). Газ из осинского горизонта по составу метановый (90 %) с содержанием азота 4-5 %.

Интересные результаты в скв. № 664 получены при испытании пласта О-II в эксплуатационной колонне. Во время исследований на всех режимах газовой струе отмечен вынос минерализованной жидкости в распыленном виде плотностью 1250 кг/м³ с незначительной нефтяной пленкой на поверхности.

В скв. № 664 по материалам качественной интерпретации ГИС в пласте О-II выделяется два пропластка с повышенными коллекторскими свойствами и коэффициентом нефтегазонасыщенности 48-58 %. Суммарная эффективная толщина пропластков не превышает 2 м. При испытании этих пропластков в эксплуатационной колонне получен слабый приток газа дебитом 100 м³/сут. После повторной перфорации дебит газа вырос только до 900 м³/сут.

Подсчет запасов газа и нефти

Подсчет запасов харыстанского горизонта традиционным объемным методом не представляется возможным из-за недостаточности и ненадежности имеющихся подсчетных параметров. Вместе с тем полученные в ходе пробной эксплуатации данные позволяют провести подсчет запасов газа харыстанского горизонта методом падения давления по формуле:

$$Q_{\text{нач}} = \frac{Q_{\text{доб}} \times \alpha_1 \times p_{\text{нач}}}{\alpha_1 \times p_{\text{нач}} - \alpha_2 \times p_{\text{кон}}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{нач}}$ – начальные запасы газа в м³, $Q_{\text{доб}}$ – количество добытого газа за период снижения давления от $p_{\text{нач}}$ до $p_{\text{кон}}$. За время пробной эксплуатации добыто 11846000 м³. $p_{\text{нач}}$ – начальное пластовое давление в кгс/см² = 169,8

$p_{\text{кон}}$ – пластовое давление в конце пробной эксплуатации в кгс/см² = 130,3.

α – поправки на отклонение углеводородных газов от закона Бойля-Мариотта соответственно при давлениях $p_{\text{нач}}$ до $p_{\text{кон}}$.

Поправка на отклонение от закона Бойля-Мариотта определена исходя из состава пластового газа харыстанского горизонта (табл. 2).

Таблица 2

Состав газа харыстанского горизонта и критические параметры

Table 2

Composition of gas of the Kharistan horizon and critical parameters

Компоненты	Содержание компонента	Критические параметры компонентов		Псевдокритические параметры	
		Рабс, кгс/см ²	Т, К	Ркр.абс, кгс/см ²	Ткр, К
Метан	90,04	46,95	190,55	42,27	171,57
Этан	4,15	49,76	306,43	2,07	12,72
Пропан	1,20	43,33	369,82	0,52	4,44
Изобутан	0,16	37,19	408,13	0,06	0,65
Бутан	0,29	38,71	425,16	0,11	1,23
С5+в	0,34	27,5	562,00	0,09	1,91
Углекислый газ	0,40	75,27	304,20	0,30	1,22
Азот	3,15	34,65	126,26	1,09	3,98
Водород	0,02	13,25	33,25	0,003	0,007
Гелий	0,216	2,34	5,2	0,005	0,01
				46,52	197,74

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{пл}}}{P_{\text{пр.кр}}} = \frac{16,8}{46,52 \times 0,098} = 3,68 \quad (2)$$

$$T_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{пл}}}{T_{\text{пр.кр}}} = \frac{281}{197,74} = 1,42 \quad (3)$$

$$Z = 0,71 \quad \alpha = 1/z = 1,4$$

Те же значения получаются и при $P_{\text{пл}} = 12,77$ МПа, т.е. $\alpha_1 = \alpha_2$.

Таким образом,

$$Q_{\text{нач}} = \frac{11846000 \times 1,4 \times 169,8}{1,4 \times 169,8 - 1,4 \times 130,3} = 50,9 \text{ млн. м}^3$$

Учитывая, что харыстанский горизонт вскрыт только в одной скв. № 664 и все параметры взяты по этой скважине, а такой важный параметр как площадь газоносности принят чисто условно, предпочтение в данном случае надо отдать результатам полученным методом падения давления.

На основе имеющихся геолого-геофизических данных обоснованы и приняты подсчетные параметры и проведен подсчет запасов газа и нефти объемным методом в осинском горизонте по категории C_2 .

При построении подсчетного плана осинского горизонта за основу взята структурная карта по кровле пласта О-II с учетом данных глубокого бурения. Учитывая неоднозначность данных качественной интерпретации материалов геофизических исследований скважин (ГИС) и результатов испытания водонефтяной контакт и газонефтяной контакт (ГНК) приняты с некоторой долей условности. В скв. № 663 горизонт полностью водонасыщен, следовательно, ВНК находится не ниже абсолютной отметки кровли осинского горизонта, вскрытого скв. № 663 – (-1010,6). Это не противоречит результатам испытания горизонта в эксплуатационной колонне в скв. № 662, где при работе скважины газом отмечался вынос пластовой воды с нефтью. Таким образом, ВНК принят на абсолютной отметке -1010,6. ГНК определен по данным качественной интерпретации материалов ГИС в скв. № 664 – (-1002,3). При принятых контактах площадь газоносности составит 27,2 км², площадь нефтеносности – 55,1 км².

Подсчет запасов нефти и газа будем проводить объемным методом. Вначале подсчитаем запасы газа. Эффективная газонасыщенная толщина осинского горизонта в скв. № 664 составляет 3,0 м, скв № 662 – 3,8 м. Для подсчета принимаем среднее арифметическое значение – 3,4 м.

Пористость коллекторов определена по данным промыслово-геофизических исследований (ПГИ) в скв. № 662 и 664. В скв. № 662 в газонасыщенной части горизонта значения пористости по пропласткам составляют 14,3 и 14,4 %, скв. № 664 – 11,6, 17,0, и 17,4 %, (среднее значение 15,3 %). Для подсчета принимаем среднее арифметическое значение – 14,8 %.

Коэффициент газонасыщенности по данным ГИС составляет в скв. № 662 – 61 %. В скв. № 664 – 53 %. Для подсчета принимаем 57 %.

Величина пластового давления принимается для подсчета по скв. № 662 – 11,53 МПа.

Поправка на температуру рассчитана для пластовой температуры +8°С:

$$\frac{273 + 20}{273 + 8} = \frac{293}{281} = 1,04$$

Поправка на отклонение углеводородных газов от закона Бойля-Мариотта рассчитана по среднему составу свободного газа осинского горизонта, полученного при испытании скв. № 662 (табл. 3).

Таблица 3

Состав газа осинского горизонта и критические параметры

Table 3

Composition of the gas of the Osinsky horizon and critical parameters

Состав газа	Содержание в объем, %	Критические Рабс, кгс/см ²	Параметры Т°К	Псевдокрит. Ркр, абс	Параметры Т°К
Метан	91,40	46,95	190,55	42,91	174,16
Этан	2,39	49,76	306,43	1,19	7,32
Пропан	0,78	43,33	369,82	0,34	2,88
Изобутан	0,09	37,19	408,13	0,03	0,37
Бутан	0,19	38,71	425,16	0,07	0,81
C ₅ +высшие	0,10	27,50	562,00	0,03	0,56
Углек.газ	0,17	75,27	304,20	0,13	0,51
Азот	4,34	34,65	126,26	1,50	5,45
Водород	0,21	13,25	33,25	0,03	0,07
Гелий	0,35	2,34	5,20	0,006	0,02
Итого	100,00			46,24	192,15

Псевдокритические параметры газа равны:

$$P_{\text{пр.кр.}} = 46,24 \text{ кгс/см}^2, T_{\text{пр.кр.}} = 193,15^\circ\text{K}$$

откуда

$$P_{\text{пр.}} = \frac{P_{\text{пл.}}}{P_{\text{пр.кр.}}} = \frac{117,65}{46,24} = 2,54$$

$$T_{\text{пр.}} = \frac{T_{\text{пл.}}}{T_{\text{пр.кр.}}} = \frac{281}{192,15} = 1,46$$

Коэффициент сверхсжимаемости равен 0,77, откуда поправка составляет

$$\alpha = \frac{1}{0,77} = 1,3$$

С учетом приведенных параметров, запасы свободного газа пласта О-II осинского горизонта по категории C_2 составит:

$$V_r = 27200000 \times 3,4 \times 0,15 \times 0,57 \times 113,79 \times 1,04 \times 1,3 = 1200,2 \text{ млн. м}^3.$$

Таким образом, геологические запасы газа пласта О-II осинского горизонта по категории C_2 составляют 1,2 млрд.м³.

В таблице 4 представлены принятые подсчетные параметры осинского горизонта. Подсчетный план представлен на рисунке 3.

Таблица 4

Подсчетные параметры осинского горизонта

Table 4

Calculation parameters of the Osinsky horizon

Подсчетный параметр	Единица измерения	Величина
Водонефтяной контакт	м	- 1010,6
Газонефтяной контакт	м	- 1002,3
Площадь газоносности	км ²	27,2
Площадь нефтеносности	км ²	55,1
Эффективная газонасыщенная толщина	м	3,4
Эффективная нефтенасыщенная толщина	м	2,4
Пористость газонасыщенного коллектора	доля единицы	0,148
Пористость нефтенасыщенного коллектора	доля единицы	0,137
Коэффициент газонасыщенности	доля единицы	0,57
Коэффициент нефтенасыщенности	доля единицы	0,49
Пластовое давление	атм	113,79
Пластовая температура	°C	+8
Плотность нефти	т/м ³	0,879
Усадка нефти по аналогии	доля единицы	0,87

Теперь подсчитаем запасы нефти пласта О-II осинского горизонта.

Эффективная нефтенасыщенная толщина пласта О-II в скв. № 662 – 2,0 м, скв. № 664 – 2,8 м. Для подсчета принимаем среднее арифметическое значение 2.4 м.

Пористость коллекторов определенная по данным интерпретации материалов ГИС составляет в скв. № 662 – 12,5 и 13,6 % (среднее значение 13 %), скв. № 664 – 14,5 %. Для подсчета принимаем среднее арифметическое значение – 13,7 %.

Коэффициент нефтенасыщенности по данным ПГИ составляет в скв. № 664 – 59 %, скв. № 664 – 36 %. Для подсчета принимаем 49 %.

Плотность нефти принята по результатам анализа пробы, отобранной в скв. № 662 и составляет 879 кг/м³.

Коэффициент учитывающий усадку нефти принят по аналогии со Среднеботуобинским месторождением принимаем равным – 0,87.

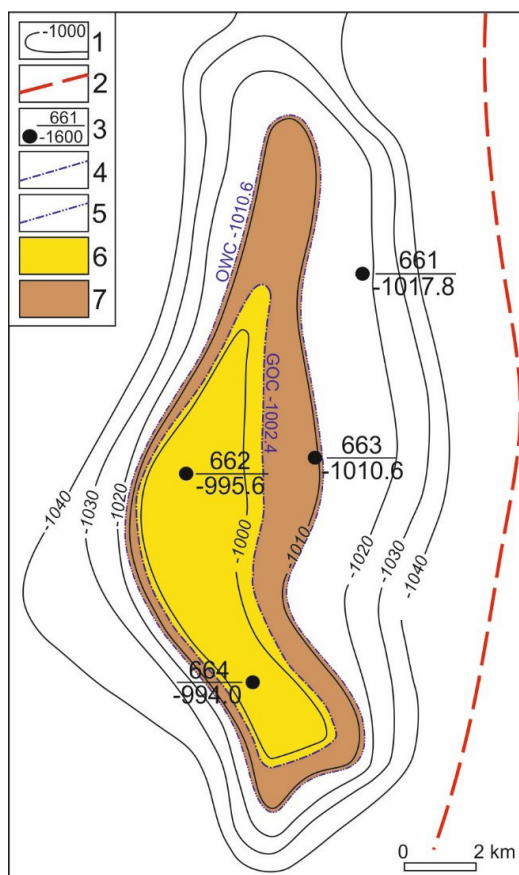


Рис. 3. Бугинская структура по кровле пласта О-II

Условные обозначения: 1 – изолинии кровли пласта О-II, 2 – тектонические нарушения, 3 – скважины (номер/глубина вскрытия пласта О-II), 4 – условный газонефтяной контакт, 5 – условный водонефтяной контакт, 6 – залежь газа осинского горизонта, 7 – залежь нефти осинского горизонта.

Fig. 3. Buyaginskaya structure on the roof of the O-II layer

Symbols: 1 – isolines of the roof of the O-II formation, 2 – tectonic faults, 3 – wells (number/depth of penetration of the O-II formation), 4 – conventional gas-oil contact, 5 – conventional water-oil contact, 6 – gas deposit of the Osinsky horizon, 7 – oil deposit of the Osinsky horizon.

С учетом приведенных параметров в таблице 4 геологические запасы нефти пласта О-II осинского горизонта по категории C_2 составят:

$$V_r = 55100000 \times 2,4 \times 0,137 \times 0,49 \times 0,85 \times 0,87 = 6564,742 \text{ тыс. тонн.}$$

Таким образом, геологические запасы нефти пласта О-II осинского горизонта на Бугинской площади по категории C_2 составляют 6,5 млн. тонн.

Суммарные геологические запасы газа в харыстанском и осинском горизонтах и геологические запасы нефти в осинском горизонте составляют:

Запасы газа – 1,251 млрд.м³.

Запасы нефти – 6,5 млн. тонн.

Таким образом, по величине извлекаемых запасов согласно действующей классификации месторождений нефти и газа Буягинское месторождение относилось бы к очень мелким.

Обсуждение результатов

Учитывая низкий уровень геолого-геофизической изученности Буягинской площади приведенные оценки запасов нефти и газа носят ориентировочный характер. Если продуктивность осинского горизонта установлена во многих месторождениях Непско-Ботуобинской антеклизы, то с харыстанским горизонтом связаны все последние открытия нефтяных месторождений. Так в зоне сочленения Предпатомского прогиба и Вилючанской седловины открыты Восточно-Бетинчинское и Текесское нефтяные месторождения. Весьма ощутимый приток нефти (45 м³/сут) из харыстанского горизонта был получен в поисковой скважине на Багдынском лицензионном участке ПАО «Сургутнефтегаз».

Восточно-Бетинчинское нефтяное месторождение расположено на территории Ленского района Республики Саха (Якутия), открыто в 2023 году поисковой скважиной № 3П. В тектоническом отношении приурочено к Нюйско-Джербинской впадине Предпатомского регионального прогиба.

Промышленная нефтегазоносность установлена в отложениях харыстанского горизонта венда (пласт V), представленных доломитами микро-тонкокristаллическими, комковатыми с включением ангидрита. В пласте V установлена 1 нефтяная залежь – пластовая, сводовая, тектонически экранированная; размеры – 10 × 5 км, высота – 132,5 м. По результатам испытания в эксплуатационной колонне в интервале с абс. отм. -2 146,6...-2 161,6 м при свабировании получен приток нефти с водой дебитами 4,61 м³/сут и 0,69 м³/сут соответственно. Физико-химические свойства нефти приняты по аналогии с харыстанским пластом Бетинчинского месторождения, имеющего сходные геолого-физические характеристики.

Текесское нефтяное месторождение расположено на территории Ленского района Республики Саха (Якутия).

Месторождение открыто в 2023 году поисковой скважиной № 3П. В тектоническом отношении приурочено к одноименной структуре в зоне сочленения северного борта Нюйско-Джербинской впадины с Непско-Ботуобинской антеклизой и Вилючанской седловиной.

Промышленная нефтегазоносность установлена в терригенных отложениях харыстанского горизонта венда (пласт V). В пласте установлена 1 нефтяная залежь – пластовая, тектонически экранированная; размеры – 8,0–10,0 × 3,6 км, высота – 27,5 м. Физико-химические свойства нефти также приняты по аналогии с харыстанским пластом Бетинчинского месторождения.

Харыстанский горизонт, по всей видимости, распространен в авлакогенах выполняющих узкие и протяженные отрицательные структуры кристаллического фундамента северо-восточного простирания вдоль северо-западного и юго-восточного склонов Сунтарского поднятия [15]. Аналогичные зоны могут быть развиты по склонам Арбайско-Синского вала. Детальное изучение особенностей распределения харыстанского горизонта может внести существенный вклад в наращивании сырьевой базы углеводородов на юго-западной части республики.

Также прямые признаки нефтеносности в виде пленок, эмульсий и проявлений установлены в разрезе бесюряхской (скв. № 661) и юряхской (скв. № 662) свит. По данным физико-химических исследований нефти Буягинской площади относятся к группе вязких, смолистых, беспарафиновых, со средней плотностью.

При применении современных технологий вскрытия – горизонтального бурения в комбинации с мультипликативным гидроразрывом пласта, не исключена возможность получения промышленных притоков нефти и газа из осинского и юряхского продуктивных горизонтов.

Заключение

В пределах Буягинской площади практический интерес представляют харыстанский и осинский горизонты, где получены промышленные и полупромышленные притоки УВ. В харыстанском горизонте вскрыта газовая залежь структурно-литологического типа, в осинском – газо-

нефтяная структурного типа. Подсчитанные запасы газа в харыстанском и осинском горизонтах и запасы нефти в осинском горизонте незначительные. Промышленное освоение залежей УВ на Буягинской площади в традиционной форме в настоящее время экономически нецелесообразно. Вместе с тем имеющиеся запасы газа могут быть интересны с точки зрения локальной генерации тепловой и электрической энергии (тепличное хозяйство, производство кирпичей и стекла на основе местного сырья, майнинг криптовалюты и др.).

На юго-западном склоне Сунтарского поднятия сейсморазведочными работами выявлено значительное количество мелких и средних положительных структур, которые могут служить ловушками для образования залежей углеводородов. Учитывая выклинивания и размыв многих стратиграфических подразделений в направлении к вершине свода, можно предположить наличие стратиграфических и литологических залежей нефти и газа. В разрезе осадочного чехла юго-западного склона Сунтарского поднятия наибольший интерес представляют аналоги вилючанского, харыстанского, юряхского и осинского горизонтов.

Литература

1. Lemeshev Y, Sivtsev A, Karpova M. On the Issue of Isolated Well Productivity in a Number of Areas of the Republic of Sakha (Yakutia) / *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vladivostok, January 25-26, 2021: 012099. DOI 10.1088/1755-1315/720/1/012099.
2. Сафронов А.Ф. Перспективы наращивания сырьевой базы нефтегазодобычи на территории РС (Я). *Наука и техника в Якутии*. 2009;2(17):15-21.
3. Бурова И.А. Карбонатные коллекторы вендско-нижнекембрийского нефтегазоносного комплекса Восточной Сибири. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2010;5(2):4 URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2010.pdf
4. Васильев С.А., Соболев П.Н., Таффарель Е.С. и др. Нефтегазоносность Вилуйской синеклизы и перспективы поисков залежей углеводородов. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 2018;(12):14-26. DOI 10.30713/2413-5011-2018-12-14-26.
5. Ситников В.С. Севостьянова Р.Ф., Павлова К.А. Актуализация представлений о глубинном строении территорий Западной Якутии в связи с нефтегазоносностью осадочного чехла. *Рифтогенез, орогенез и сопутствующие процессы*: Материалы IV Всероссийского симпозиума с участием иностранных ученых, посвященного 90-летию со дня рождения академика Н.А. Логачева, г. Иркутск, 14-15 октября 2019 г. Иркутск: Институт земной коры Сибирского отделения РАН; 2019:196-198.
6. Лемешев Я.В., Сивцев А.И. К вопросу продуктивности единичных скважин в ряде площадей республики Саха (Якутия). *Нефть и газ – 2020* : Сборник трудов 74-й Международной молодежной научной конференции, Москва, 28 сентября – 04 октября 2020 г. Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина;2020:235-238.
7. Калачева Л.П., Рожин И.И. О возможном образовании гидратов природного газа в условиях месторождений Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019(12):55-59. DOI 10.17513/mjprfi.12953.
8. Черданцев Г.А., Головин С.В. Уточнение перспектив нефтегазоносности среднепалеозойских отложений южной части Вилуйской синеклизы. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2018;13(3):6. URL: https://ngtp.ru/rub/4/33_2018.pdf. DOI 10.17353/2070-5379/33_2018.
9. Федорович М.О., Космачева А.Ю. Прогноз нефтегазоносности Вилуйской гемисинеклизы на базе интерпретации геолого-геофизических материалов и технологии бассейнового моделирования (Республика Саха (Якутия)). *Георесурсы*.2023;25(1):81-94. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.1.9>
10. Мандельбаум М.М., Хохлов Г.А., Кондратьев В.А. Непско-Ботуобинская антеклиз: история выявления, геология, перспективы освоения. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 2004;(1):28-37.
11. Рыжов А.Е., Склярова З.П., Крикунов А.И. и др. Уточнение внутреннего строения терригенного комплекса нижнего венда Верхневилючанского нефтегазоконденсатного месторождения. *Вести газовой науки*. 20214;1(46):87-105.
12. Недосекин А.С., Лукашов А.В., Смирнов О.А. и др. Модель формирования осадочного чехла Верхневилючанского лицензионного участка по данным сейсморазведки МОВ ОГТ-3D. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 20184(6):18-24. DOI 10.30713/2413-5011-2018-6-18-24.

13. Петров М.М. Обобщение и анализ промысловых данных и рекомендации для поисков скоплений углеводородов в осинском горизонте Непско-Ботуобинской антеклизы. *Нефтегазовое дело*. 2010;(1):31. URL: https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/PetrovMM/PetrovMM_1.pdf
14. Рапацкая Л.А. Осинский резервуар – модель геофлюидодинамической системы: очаги генерации, пути миграции и местоскопления углеводородов. *Науки о Земле и недропользование*. 2024;3(88):329-341. DOI 10.21285/2686-9993-2024-47-3-329-341.
15. Сивцев А.И., Тимофеев Н.Г., Мещеряков В.А. Перспективные нефтегазовые объекты на северо-востоке Предпатовского прогиба. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2024;29(2):193-203. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-193-203>

References

1. Lemeshev Y., Sivtsev A., Karpova M. On the Issue of Isolated Well Productivity in a Number of Areas of the Republic of Sakha (Yakutia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vladivostok, January 25–26.2021: 012099 (in Russian). DOI 10.1088/1755-1315/720/1/012099.
2. Safronov A.F. Prospects for increasing the raw material base of oil and gas production in the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). *Science and technology in Yakutia*.2009;2(17):15–21 (in Russian).
3. Burova I.A. Carbonate reservoirs of the Vendian-Lower Cambrian petroleum complex, Eastern Siberia. *Oil and Gas Geology. Theory and Practice*. 2010;5(2):4. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2010.pdf (in Russian).
4. Vasiliev S.A., Sobolev P.N., Taffarel E.S. et al. Oil and gas potential of Vilyuiskaya syncline and prospects of hydrocarbon deposits searching. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2018;(12):14-26 (in Russian). DOI 10.30713/2413-5011-2018-12-14-26
5. Sitnikov V.S., Sevostyanova R.F., Pavlova K.A. Updating the concepts of the deep structure of the territories of Western Yakutia in connection with the oil and gas potential of the sedimentary cover. *Riftogenesis, orogenesis and associated processes: Proceedings of the IV All-Russian symposium with the participation of foreign scientists dedicated to the 90th anniversary of the birth of Academician N.A. Logachev*, Irkutsk, October 14-15, 2019; Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2019:196–198 (in Russian).
6. Lemeshev Ya.V., Sivtsev A.I. On the productivity of individual wells in a number of areas of the Sakha Republic (Yakutia). *Oil and Gas – 2020: Proceedings of the 74th International Youth Scientific Conference, Moscow, September 28 – April 04, 2020*. Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University); 2020:235-238 (in Russian).
7. Kalacheva L.P., Rozhin I.I. On the possible formation of natural gas hydrates in the conditions of the Lena-Tunguska oil and gas province fields. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2019(12):55–59 (in Russian). DOI 10.17513/mjpf.12953.
8. Cherdantsev G.A., Golovin S.V. Clarification of the oil and gas potential of the Middle Paleozoic deposits of the southern part of the Vilyui syncline. *Oil and Gas Geology. Theory and Practice*. 2018;13(3):6. Available at: https://ngtp.ru/rub/4/33_2018.pdf (in Russian). DOI 10.17353/2070-5379/33_2018
9. Fedorovich M.O., Kosmacheva A.Yu. Prediction of oil and gas occurrence in the Vilyui hemisyncline according to interpretation of geological and geophysical data and basin modeling (Republic of Sakha (Yakutia)). *Georesources*. 2023;25(1):81–94 (in Russian). <https://doi.org/10.18599/grs.2023.1.9>
10. Mandelbaum M.M., Khokhlov G.A., Kondratyev V.A. Nepa-Botuoba anticline: history of identification, geology, development prospects. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2004(1):28–37 (in Russian).
11. Ryzhov A.E., Sklyarova Z.P., Krikunov A.I. et al. Clarification of the internal structure of the Lower Vendian terrigenous complex of the Verkhnevilyuchanskoye oil and gas condensate field. *Scientific and technical collection Vesti gazovoy nauki*. 2021;1(46):87–105 (in Russian).
12. Nedosekin A.S., Lukashov A.V., Smirnov O.A. et al. Model of sedimentary cover formation of the Verkhnevilyuchansky license area based on 3D reflection seismic exploration data. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2018;(6):18–24 (in Russian). DOI 10.30713/2413-5011-2018-6-18-24
13. Petrov M.M. Generalization and analysis of field data and recommendations for the search for hydrocarbon accumulations in the Osinsky horizon of the Nepa-Botuoba anticline. *Oil and Gas Business*. 2010;(1):31. Available at: https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/PetrovMM/PetrovMM_1.pdf (in Russian).

14. Rapatskaya L.A. Osinsky reservoir – a model of a geofluidodynamic system: generation centers, migration routes and hydrocarbon accumulation sites. *Earth Sciences and Subsoil Use*. 2024;3(88):329-341 (in Russian). DOI 10.21285/2686-9993-2024-47-3-329-341

15. Sivtsev A.I., Timofeev N.G., Meshcheryakov V.A. Oil-and-gas potential of the northeast Predpatom trough. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2024;29(2):193–203 (in Russian). <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-2-193-203>

Об авторах

СВИНОБОЕВ Алексей Алексеевич – студент Геологоразведочного факультета, СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация

E-mail: alex_doydu@mail.ru

СИВЦЕВ Алексей Иванович – к.г.-м.н., доц. каф. «Недропользование», СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0001-8386-2383>, ResearcherID: F-1077-2014, Scopus Author ID: 56287496100, SPIN: 8676-4888

E-mail: maraday@yandex.ru

КАРПОВА Мария Ивановна – ст. преп. Геологоразведочного факультета СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация

E-mail: karpova-grf@mail.ru

About the authors

Alexey Alexeevich SVINOBEOV – student, Faculty of Geology and Survey, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University

E-mail: alex_doydu@mail.ru

Aleksei Ivanovich SIVTSEV – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Associate Professor, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, <https://orcid.org/0000-0001-8386-2383>, ResearcherID: F-1077-2014

E-mail: maraday@yandex.ru

Maria Ivanovna KARPOVA – Senior Lecturer, Faculty of Geology and Survey, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University

E-mail: karpova-grf@mail.ru

Вклад авторов

Свинобоев А.А. – проведение исследования, редактирование рукописи, визуализация, администрирование данных.

Сивцев А.И. – разработка концепции, проведение исследования, руководство исследованием.

Карпова М.И. – создание черновика рукописи, визуализация.

Authors' contribution

Svinoboev A.A. – investigation, writing-review&editing, visualization, project administration.

Sivtsev A. I. – conceptualization, investigation, supervision.

Karpova M.I. – writing-original draft, visualization.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 14.04.2025

Принята к публикации / Accepted 16.05.25

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 551.583

<https://doi.org/10.25587/2587-8751-2025-1-55-67>

Оригинальная научная статья

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСА ДРЕВОСТОЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ALOS PALSAR НА ПРИМЕРЕ ГЕОПАРКА «ТОРАТАУ»

Е. А. Богдан^{1,2}, Л. Н. Белан^{1,2}, Р. С. Бахтиярова¹, А. Ю. Витценко¹,
И. О. Туктарова¹, Р. Р. Гумеров¹*

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Россия

²Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Россия

*eavolkova@bk.ru

Аннотация

В последнее время имеют широкое распространение дистанционные методы анализа динамики и состояния древостоя.

Для соответствия критериям глобального геопарка ЮНЕСКО геопарку Торатау важно проводить исследования в части глобального изменения климата и устойчивого управления природными ресурсами.

Используя векторные данные лесоустройства 2017 года и данные статистики раstra ALOS Palsar проведен регрессионно-корреляционный анализ. Статистика растров получена с помощью модуля SAGA GIS (программа QGIS) инструмент – статистика растров в полигоны (среднее значение). Также на основании полученного регрессионного уравнения построены изображения, отражающие запас древостоя геопарка Торатау на 2017 и 2023 год.

Проведенный регрессионный анализ показал наличие значимой связи между значениями пикселей ALOS Palsar и запасами древостоя – коэффициент корреляции Пирсона $r = 0,62$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,38$.

Результаты оценки запаса древостоя 2017 года по данным таксационных описаний) и ALOS Palsar (HV поляризация) немного различаются. Распределение максимальных значений запаса древостоя по данным ALOS Palsar также соответствует северной части геопарка, но число полигонов с максимальным значением ниже, чем по данным таксации. Диапазон максимальных значений – 279-497 м³ на га. на изображении 2023 года отмечаются участки с отрицательным запасом древостоя – они соответствуют вырубленным площадкам.

Предложенный подход может быть использован для мониторинга за рубками, фитосанитарным состоянием древостоя и воздействия рекреации на леса геопарка «Торатау»

Ключевые слова: изменение климата, дистанционное зондирование Земли, геопарк Торатау, запасы древостоя, ALOS Palsar

Для цитирования: Богдан Е. А., Белан Л. Н., Бахтиярова Р. С., Витценко А. Ю., Туктарова И. О., Гумеров Р. Р. Определение запаса древостоя с использованием спутниковых данных ALOS Palsar на примере Геопарка «Торатау». *Вестник СВФУ*. 2025;(2): 55-67. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-55-67

DETERMINATION OF THE STAND STOCK USING ALOS PALSAR SATELLITE DATA: THE CASE OF TORATAU GEOPARK

Ekaterina A. Bogdan^{1,2}, Larisa N. Belan^{1,2}, Rosa S. Bakhtiyarova¹, Anastasia Y. Vitsenko¹,
Iren O. Tuktarova¹, Rinat R. Gumerov¹*

¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

²Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

*eavolkova@bk.ru

Abstract

Recently, remote methods for analyzing the dynamics and condition of a stand have become widely used. In order to meet the criteria of the UNESCO Global Geopark, it is important for Toratau Geopark to conduct research on global climate change and sustainable management of natural resources.

Using vector data from the 2017 forest management and statistical data from the ALOS Palsar raster, a regression and correlation analysis was performed. Raster statistics are obtained using the SAGA GIS module (QGIS program) tool – raster statistics into polygons (average value). Also, based on the obtained regression equation, images reflecting the stock of the stand of the Toratau Geopark for 2017 and 2023 were constructed.

The regression analysis showed the presence of a significant relationship between the values of ALOS Palsar pixels and stand stocks – Pearson correlation coefficient $r = 0.62$, coefficient of determination $R^2 = 0.38$.

The results of the 2017 stand stock assessment according to the tax descriptions and ALOS Palsar (HV polarization) differ slightly. The distribution of the maximum values of the stand stock according to ALOS Palsar data also corresponds to the northern part of the geopark, but the number of polygons with the maximum value is lower than according to the taxation data. The maximum value range is 279–497 m³ per ha. in the image of 2023, areas with a negative stock of stand are marked – they correspond to the cut-down sites.

The proposed approach can be used to monitor logging, the phytosanitary condition of the stand and the impact of recreation on the forests of Toratau Geopark.

Keywords: climate change, remote sensing of the Earth, Toratau Geopark, stand stocks, ALOS Palsar

For citation: Bogdan E.A., Belan L.N., Bakhtiyarova R.S., Vitsenko A.Y., Tuktarova I.O., Gumerov R.R. Determination of the stand stock using ALOS Palsar satellite data on the example of Toratau Geopark. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*. 2025;(2):55–67. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-55-67

Введение

Эффективность экологической политики региона во многом зависит от глубокого понимания тенденций климатических изменений и того, как на них реагируют местные экосистемы.

Леса играют ключевую роль в процессе удаления атмосферного углерода, выступая в качестве мощных депонирующих систем. Поэтому крайне важно учитывать их потенциал при разработке стратегий адаптации региона к изменениям климата.

Исторически, продуктивность растительности оценивалась преимущественно наземными методами. Эти методы также использовались для калибровки и подтверждения результатов дистанционных измерений. Наиболее масштабные исследования продуктивности растительности в Северной Евразии были проведены группой ученых из Института географии АН СССР и РАН под руководством Н.И. Базилевич [1, 2].

Для особо охраняемых природных территорий Республики Башкортостан была проведена оценка продуктивности лесов, основанная на данных лесной таксации [3, 4].

Еще одним эффективным способом оценки продуктивности лесов является использование лидарной съемки с беспилотного летательного аппарата [5] и космических снимков [6, 7].

В работе Santoro [8] приводятся результаты обработки космических SAR (ALOS PALSAR, Envisat ASAR), оптических (Landsat-7), лидарных (ICESAT) и вспомогательных наборов данных с несколькими процедурами оценки.

Для реализации критерия 2 глобальных геопарков ЮНЕСКО [9] для территории геопарка Торатау важно оценить его потенциал декарбонизации.

Целью нашей работы является изучение возможности оценить запас древостоя широколиственных лесов с помощью данных ALOS Palsar на примере территории геопарка «Торатау».

Материалы и методы исследования

Геопарк Торатау расположен в центральной части Республики Башкортостан и включает в себя территории Гафурийского, Ишимбайского и Стерлитамакского районов (рис. 1).

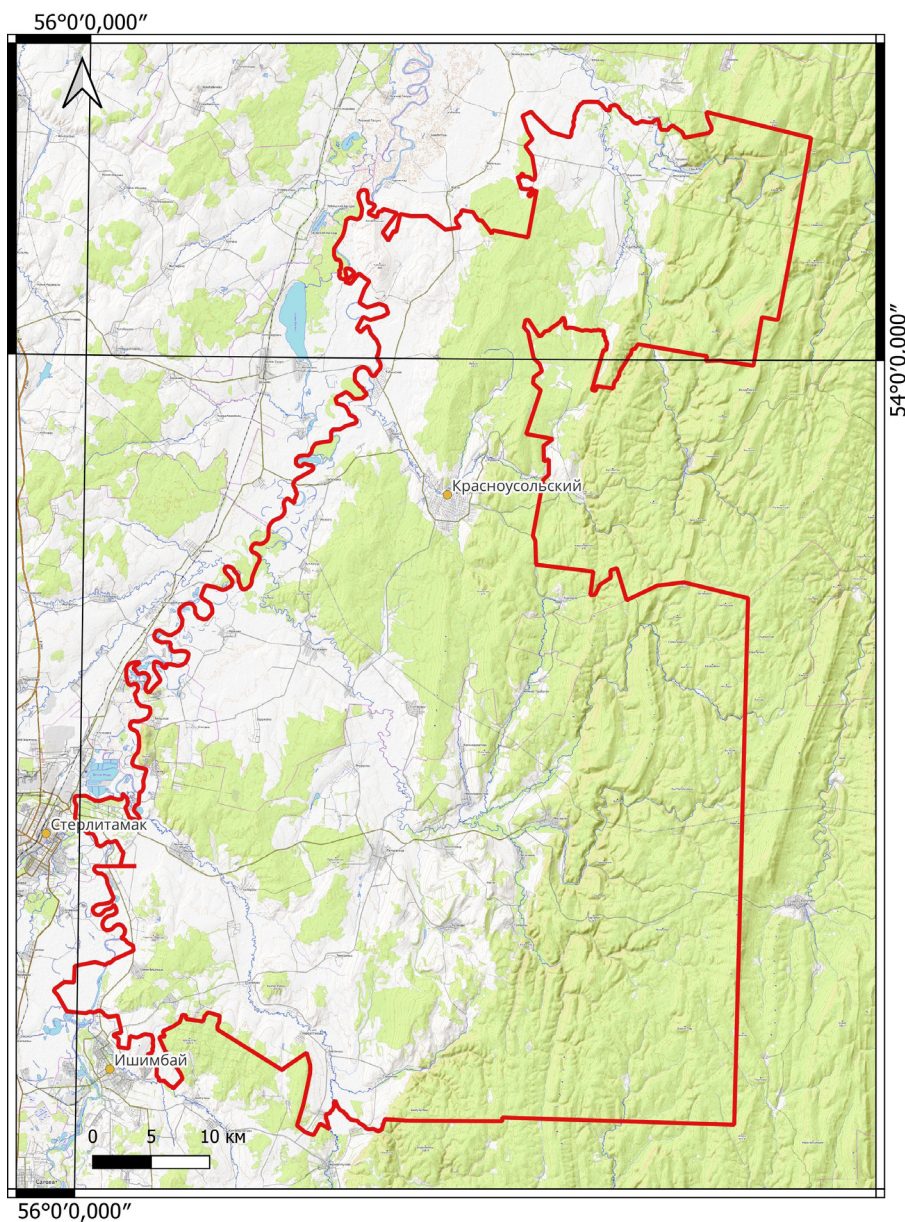


Рис. 1. Местоположение геопарка «Торатау»

Fig. 1. Location of Toratau Geopark

На территории геопарка Торатау широколиственные леса занимают значительную часть. Они представлены такими породами, как липа *Tilia cordata* Mill., дуб *Quercus robur* L., клён *Acer platanoides* L. и вяз *Ulmus glabra* Huds. [10-12].

Липа – наиболее распространенный вид в геопарке Торатау (рис. 2). Она образует как монодоминантные, так и смешанные с другими видами древостои. Липа достигает доминирующего положения благодаря успешному размножению семян под пологом сосново-березовых лесов, а также выборочным рубкам сосны и берёзы [13].

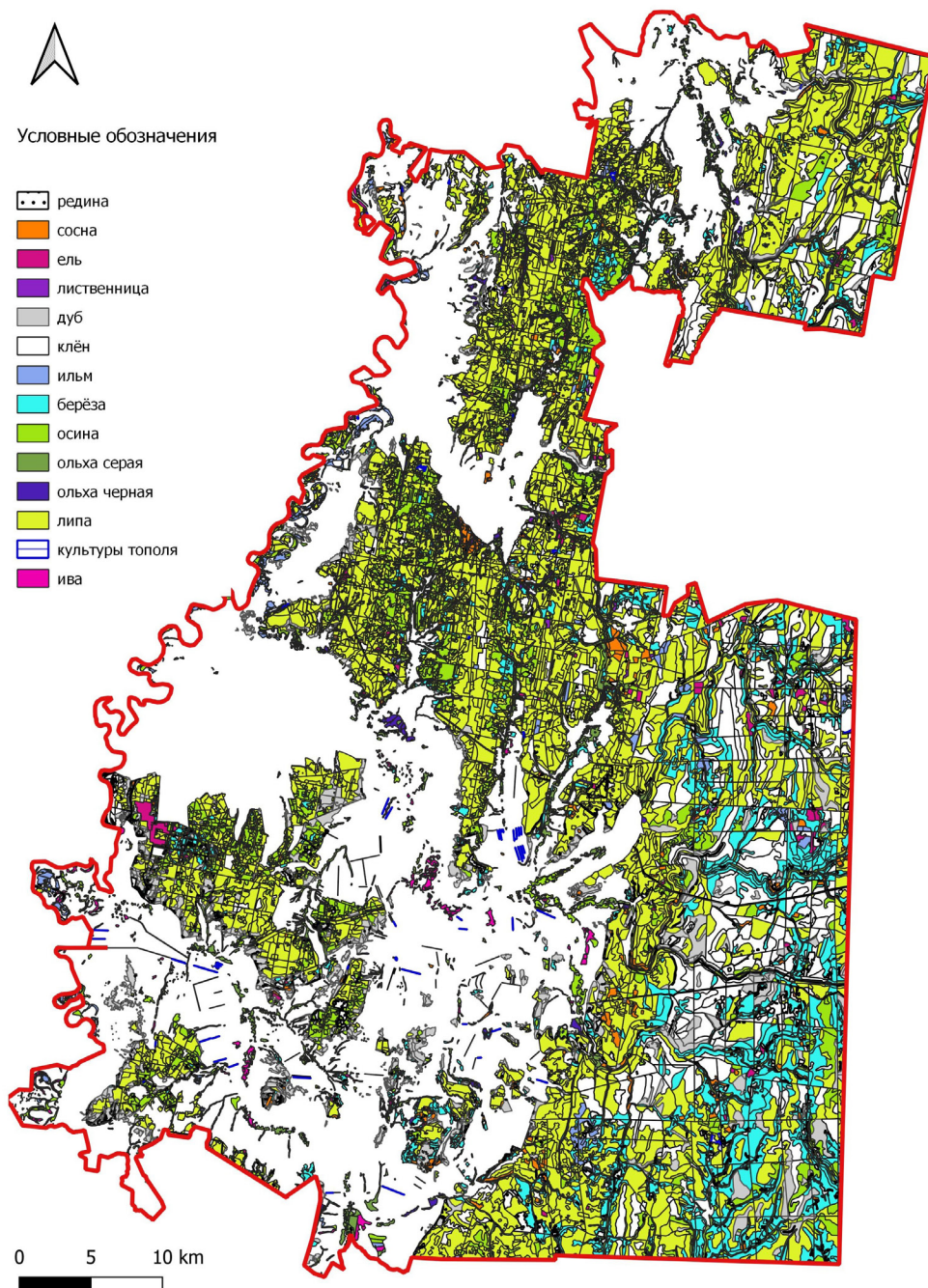


Рис. 2. Породный состав геопарка «Торатау»

Fig. 2. Species composition of Toratau Geopark

Липовые насаждения являются самой продуктивной кормовой базой пчеловодства в Башкортостане. Около 33 % всех насаждений липы содержат нектар, что составляет почти 80 % от общих медоносных ресурсов [14].

В связи с тем, что лесоустройство проходило в 2017 году нами были отобраны снимки ALOS Palsar за 2017 год.

Используя векторные данные лесоустройства 2017 года и данные статистики растра ALOS Palsar проведен регрессионно-корреляционный анализ. Статистика растров получена с помощью модуля SAGA GIS (программа QGIS) инструмент – статистика растров в полигоны (среднее значение)

Запас древостоя на 2017 год построен по данным лесной таксации и ALOS Palsar (на основании полученного регрессионного уравнения). Также на основании полученного регрессионного уравнения построены изображения, отражающие запас древостоя геопарка Торатау на 2023 год.

Результаты исследования

Проведенный регрессионный анализ показал наличие значимой связи между значениями пикселей ALOS Palsar и запасами древостоя (рис. 3) – коэффициент корреляции Пирсона $r = 0,62$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,38$.

Результаты оценки запаса древостоя 2017 года по данным таксационных описаний (рис. 4) и ALOS Palsar (HV поляризация) (рис. 5) немного различаются. В соответствии с данными таксационных описаний наибольший запас характерен также для северной части геопарка и района населенных пунктов Утяково, Арметка, Кутлугуза с максимальным значением 230-470 м³ на га. Распределение максимальных значений запаса древостоя по данным ALOS Palsar также соответствует северной части геопарка и району населенных пунктов Утяково, Арметка, Кутлугуза, но число полигонов с максимальным значением ниже, чем по данным таксации. Диапазон максимальных значений – 279-497 м³ на га.

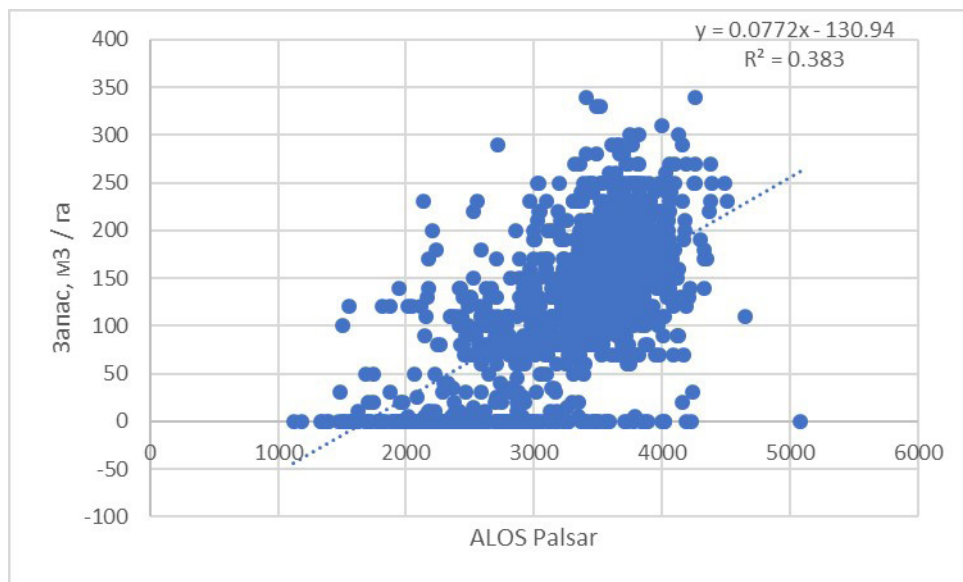


Рис. 3. Корреляционные связи значений пикселей ALOS Palsar и данных лесной таксации на 2017 год. (по средним значениям)

Fig. 3. Correlation relationships between ALOS Palsar pixel values and forest inventory data for 2017 (based on average values)

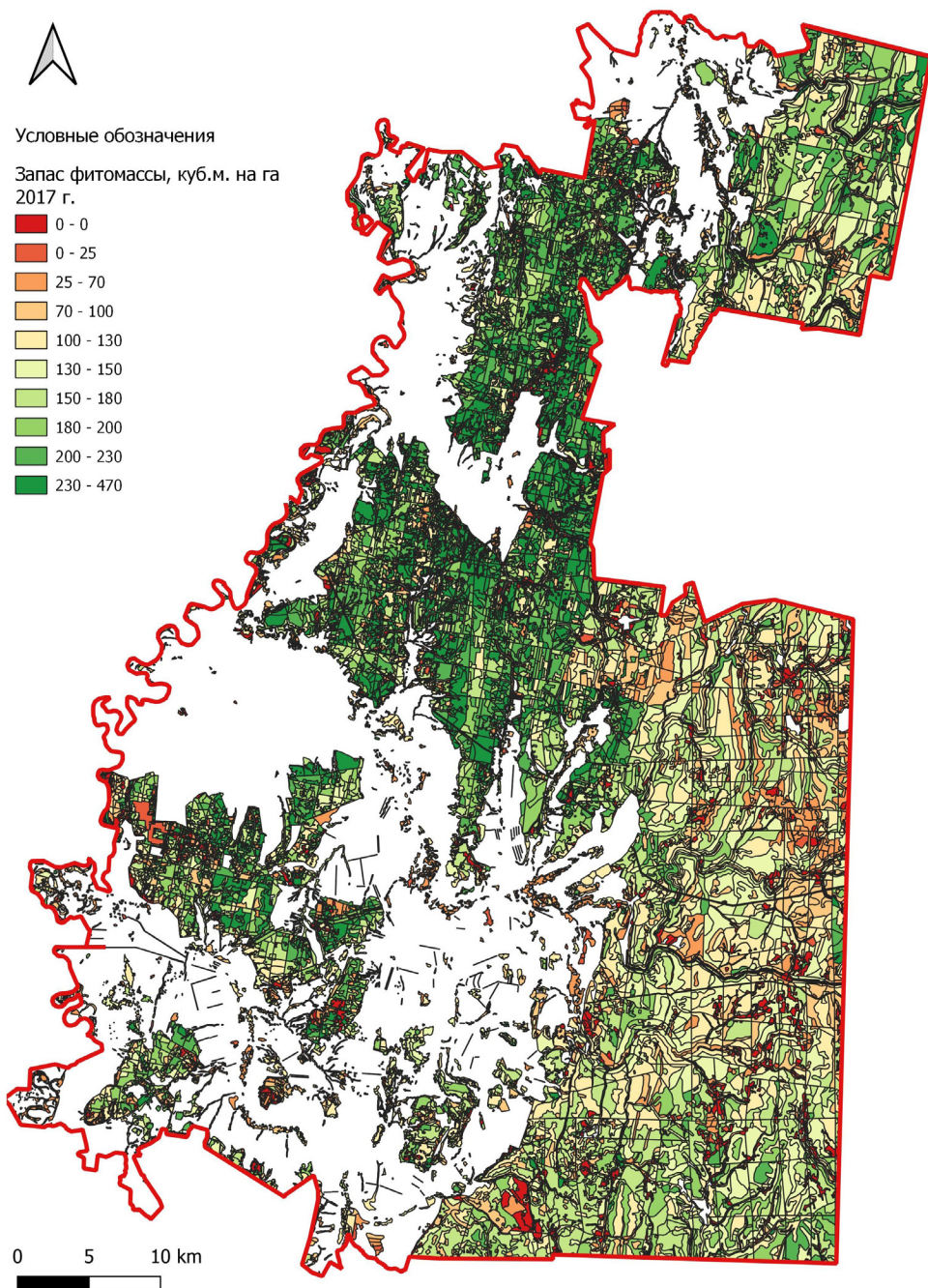


Рис. 4. Запас по данным лесной таксации на 2017 год

Fig. 4. Reserve according to forest inventory data for 2017

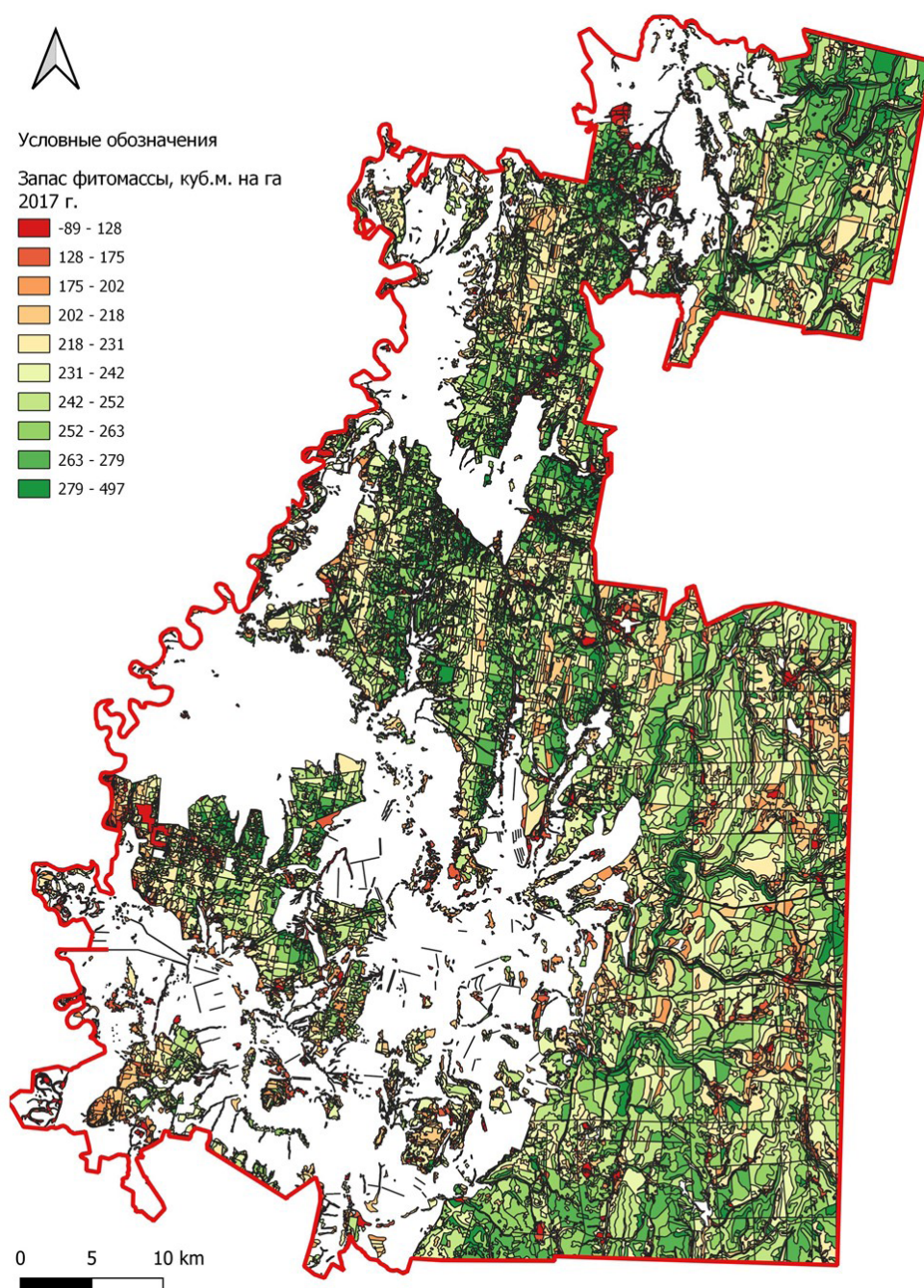


Рис. 5. Запас древостоя по данным снимков ALOS (Palsar) на 2017 год

Fig. 5. Growing stock according to ALOS (Palsar) images for 2017

Результаты, полученные на 2023 год по данным ALOS Palsar, также показывают увеличение запаса древостоя. При этом территориальное распределение запасов древостоя изменилось. Максимальные значения 324-499 м³ на га характерны для северной части в районе населённого пункта Имендяшево и всей восточной части геопарка. Также отмечаются участки с отрицательным запасом древостоя – они соответствуют вырубленным площадкам (рис. 6).

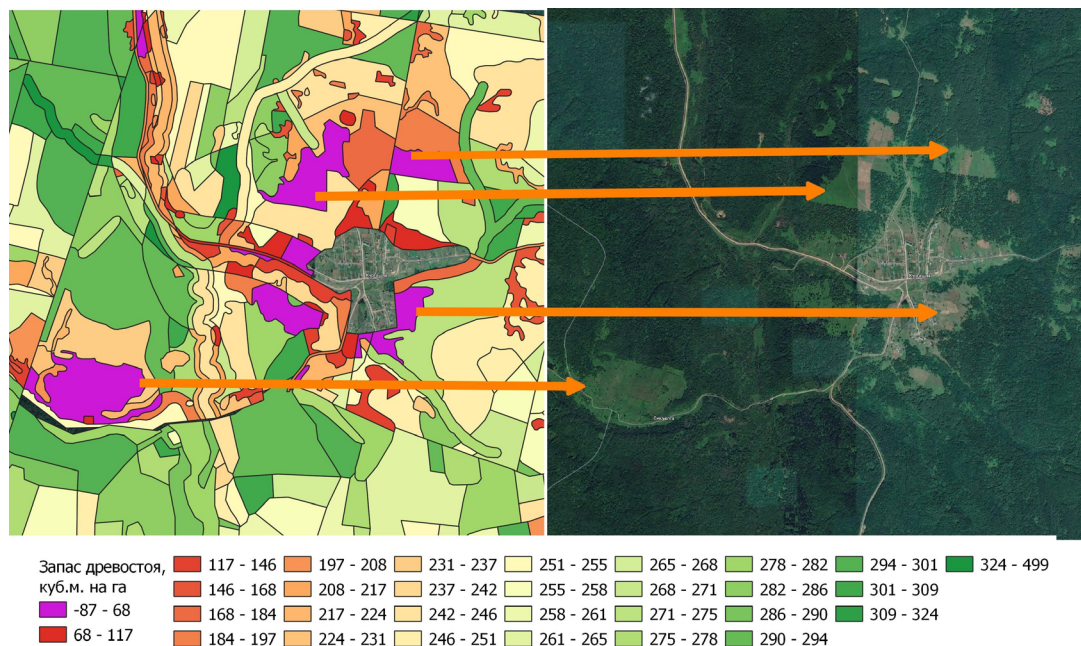


Рис. 6. Соответствие месторасположения вырубок участкам с отрицательным значениям запаса по данным ALOS Palsar

Fig. 6. Correspondence of clearcut locations to areas with negative stock values according to ALOS Palsar data

Обсуждение результатов

Леса в хорошо управляемых заповедниках и охраняемых зонах, как правило, характеризуются высокой степенью биоразнообразия и более низким уровнем антропогенного воздействия по сравнению с другими районами [15]. Деревья на таких территориях могут испытывать меньше стрессовых факторов и конкуренции, что может способствовать более быстрым темпам роста и общему оздоровлению деревьев, чем леса на незащищенных или нарушенных территориях. Например, Замолодчиков и др., 2011 [16], сообщили, что поглощение углерода российскими лесами увеличилось с 80 млн тонн углерода в год в 1988 году до 230-240 млн тонн углерода в год в конце 2000-х годов из-за сокращения лесозаготовок и борьбы с пожарами, начавшегося в 1990-х годах. В случае геопарка «Торатау» мы также отмечаем рост запаса древостоя в восточной его части и связываем это явление с уменьшением рубок.

Радиолокационные снимки ALOS Palsar используются для пространственного анализа в разных сферах: гидрологические исследования [17, 18], мониторинг криогенных процессов [19], построение цифровой модели рельефа [20], оценке лесного покрова [21].

Исследование [22] показало, что большое количество поляриметрических характеристик ALOS Palsar могут служить маркерами лесной и безлесной среды.

Результаты исследования [23] свидетельствуют о существенном потенциале радиолокационных средств космического наблюдения за состоянием лесных покровов, типовых для центра Европейской части России.

Вместе с тем следует учитывать, что представленные методы имеют определенные ограничения. В частности, в работе [24] показано, что в среднем, ошибки оценок биомассы на основе оптических и радиолокационных данных составляют примерно 25 %.

В исследовании [25] при оценке возможности использования радиолокационных снимков Sentinel-1 для проведения лесотаксационных работ выявлено, что при моделировании запаса древостоя наибольшие погрешности отмечаются для насаждений средней полноты с запасом от 100 до 300 м³ на га. В этой же работе отмечена сложность прогнозирования запаса древостоя в молодняках, в связи с их незначительной полнотой и наличием просветов. Вместе с тем в работе [26] для Саяно-Шушенского заповедника, показана возможность достоверного определения запаса древостоя с использованием снимков Sentinel-1 – $R^2 = 0,74$.

Некоторые исследователи считают, что использования данных ALOS Palsar для определения запаса древостоя имеет ограничения, связанные с пространственным разрешением в 25 м [27]. Также важным аспектом являются условия съемки: температура, влажность и т.д. [24]. Также следует отметить значительное влияние на полученный результат точности геопривязки и результатов наземной таксации.

В целом наши исследования также выявили связь данных пикселей ALOS Palsar и данных о запасах древостоя. Вероятно, что использование методов машинного обучения позволит построить более точную модель прогнозирования запаса древостоя.

Заключение

Геопарк Торатау, хоть и не является особо охраняемой природной территорией, но вместе с тем должен обеспечивать устойчивое развитие собственной территории. В ключе проблемы глобального изменения климата, оперативный мониторинг за состоянием лесного покрова посредством данных дистанционного зондирования Земли является актуальным инструментом устойчивого управления территорией геопарка.

Изображения ALOS Palsar (HV поляризация) продемонстрировали достоверную связь с запасом древостоя геопарка. Предложенный подход может быть использован для мониторинга за рубками, фитосанитарным состоянием древостоя и воздействия рекреации на леса геопарка «Торатау».

Литература

1. Базилевич Н.И. *Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии*. Москва: Наука; 1993: 293.
2. Базилевич Н. И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. Москва: Мысль; 1978: 181.
3. Volkov A., Belan L., Bogdan E. et al. Spatio-Temporal Analysis of Forest Growing Stock Volume and Carbon Stocks: A Case Study of Kandry-Kul Natural Park, Russia. *Land*. 2023;12(7):1441. DOI: 10.3390/land12071441
4. Belan L., Suleymanov A., Bogdan E. et al. Assessing and Mapping Changes in Forest Growing Stock Volume over Time in Bashkiriya Nature Reserve, Russia. *Forests*. 2023;14(11):2251. DOI: 10.3390/f14112251
5. Fedorov N., Tuktamyshev I., Bikbaev I. et al. Spatiotemporal Dynamics of Betula pendula Crown Cover on Abandoned Arable Land in a Broad-Leaved Forest Zone of Bashkir Cis-Ural. *Forests*. 2024;15(1):34. DOI: 10.3390/f15010034
6. Suleymanov A., Bogdan E., Gaysin I. et al. Spatial high-resolution modelling and uncertainty assessment of forest growing stock volume based on remote sensing and environmental covariates. *Forest Ecology and Management*. 2024;554:121676. DOI: 10.1016/j.foreco.2023.121676
7. Suleymanov A., Shagaliev R., Belan L. et al. Forest growing stock volume mapping with accompanying uncertainty in heterogeneous landscapes using remote sensing data. *Earth Science Informatics*. 2024; 17(6):5359-5369. DOI: 10.1007/s12145-024-01457-6
8. Santoro M., Cartus O.; Mermoz St. et al. A detailed portrait of the forest aboveground biomass pool for the year 2010 obtained from multiple remote sensing observations, Geophysical Research Abstracts, 20, EGU2018-18932. *Geophys, Res, Abstr*. 2018; 20(1):18932. DOI: 10.1594/PANGAEA.894711

9. Martini G., Zouros N., Zhang J. et al. UNESCO Global Geoparks in the «World after»: a multiple-goals roadmap proposal for future discussion. *Episodes*. 2021;3:1-7. DOI: 10.18814/epiiugs/2021/021002
10. Федоров Н.И., Мартыненко В.Б., Жигунова С.Н. и др. Изменение распространения широколиственных древесных видов в центральной части Южного Урала со второй половины XX в. *Экология*. 2021; 2: 103-111. DOI: 10.31857/S0367059721020050
11. Мулдашев А.А., Маслова Н.В., Галеева А.Х. и др. Редкие виды растений на территории перспективного памятника природы «Гора Бикмаш» (Республика Башкортостан). *Экобиотех*. 2020; 3 (2). 280-291. DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-2-280-291
12. Абрамова Л. М., Баишева Э.З., Габбасова И.М и др. *Уникальные памятники природы – шиханы Тратау и Юрактау*. Уфимский Институт биологии РАН; Ботанический сад-институт Уфимского НЦ РАН; Академия наук республики Башкортостан. Уфа: Издательство «Гилем»; 2014: 312.
13. Давыдычев А.Н., Горичев Ю.П., Кулагин А.Ю. и др. Возобновительные процессы под пологом широколиственно-темнохвойных лесов Южного Урала. *Лесоведение*. 2011; 2: 51-61.
14. Самсонова И.Д., Нуркаева М.Р., Саттаров В.Н. и др. Оценка биоресурсного потенциала насаждений *Tilia cordata* геопарка Торатау Республики Башкортостан с использованием цифровых технологий. *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2022; (59)-4: С. 191-197. DOI: 10.54258/20701047_2022_59_4_191
15. Law B.E., Berner L.T., Buotte P.C., et al. Strategic Forest Reserves Can Protect Biodiversity in the Western United States and Mitigate Climate Change. *Commun. Earth Environ.* 2021;2:254. DOI:10.1038/s43247-021-00326-0
16. Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Kraev G.N. A Twenty Year Retrospective on the Forest Carbon Dynamics in Russia. *Contemp. Probl. Ecol.* 2011;4:706-715. DOI: 10.1134/S1995425511070022
17. Смирнова И.О., Русанова А.А., Камышников Н.В. Анализ характеристик ледяного покрова озер Большеземельской тундры по радиолокационным данным ALOS PALSAR. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017; 14(7):198-209. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-198-209
18. Чимитдоржиев Т.Н., Кирбижекова И.И., Леонов А.С. и др. Формирование и развитие становых трещин ледового покрова озера Байкал по данным ALOS PALSAR. *Известия вузов. Физика*. 2012; (55) 8-2. – С. 276-277.
19. Кирбижекова И.И., Чимитдоржиев Т.Н., Дворников Ю.А. и др. Мониторинг криогенных процессов полуострова Ямал на основе радарных данных TANDEM-X и ALOS-2 PALSAR-2. *Вычислительные технологии*. 2018; 23(4): С. 50-64.
20. Баранов Ю.Б., Кантемиров Ю.И., Киселевский Е.В. Построение ЦМР по результатам интерферометрической обработки радиолокационных изображений ALOS PALSAR. *Геоматика*. 2008; (1): 37-45.
21. Кирбижекова И.И., Батуева Е.В. Исследование сезонных изменений лесной растительности Байкальского региона по поляриметрическим данным ALOS PALSAR. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2016; 327 (3): 103-110.
22. Кирбижекова И.И., Чимитдоржиев Т.Н., Гармаев А.М. и др. Картография лесных ресурсов Республики Бурятия на основе поляриметрических данных ALOS PALSAR и мультиспектральных данных SPOT5. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2013; 4 (1): 129-133.
23. Саворский В.П., Захаров А.И., Захарова Л.Н. и др. Комплексный анализ результатов оптических и радиолокационных наблюдений лесных покровов. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2013; 10(4): 213-223.
24. Бабий И.А., Им С.Т., Харук В.И. Оценка надземной биомассы лесов радиолокационными методами. *Сибирский экологический журнал*. 2022; 29(5):487-506. DOI 10.15372/SEJ20220501
25. Сидоренков В.М., Кушнырь О.В., Бадак Л.В. и др. Возможности таксации лесов на основе данных радиолокационной спутниковой съемки. *Исследование Земли из космоса*. 2021; (5): 72-84. DOI 10.31857/S0205961421050080
26. Сидоренков В.М., Астапов Д.О., Ачиколова Ю.С. и др. Методы лесотаксационного дешифрирования радиолокационной спутниковой съемки в горных лесах Южной Сибири. *Лесохозяйственная информация*. 2024; (1): 67-80. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.1.05
27. Hernández-Stefanoni J.L., Castillo-Santiago M.Á., Mas J.F. et al. Improving aboveground biomass maps of tropical dry forests by integrating LiDAR, ALOS PALSAR, climate and field data. *Carbon Balance Manage* 2020; 15:15. DOI: 10.1186/s13021-020-00151-6

References

1. Bazilevich N.I. *Biological productivity of ecosystems of Northern Eurasia*. Moscow: Nauka; 1993:293 (in Russian).
2. Bazilevich N.I., et al. *Methods of studying the biological cycle in various natural zones*. Moscow: Mysl; 1978:181.
3. Volkov A., Belan L., Bogdan E., et al. Spatio-Temporal Analysis of Forest Growing Stock Volume and Carbon Stocks: A Case Study of Kandry-Kul Natural Park, Russia. *Land*. 2023;12(7):1441. DOI: 10.3390/land12071441
4. Belan L., Suleymanov A., Bogdan E., et al. Assessing and Mapping Changes in Forest Growing Stock Volume over Time in Bashkiriya Nature Reserve, Russia. *Forests*. 2023;14(11):2251. DOI: 10.3390/f14112251
5. Fedorov N., Tukhtamyshev I., Bikbaev I. et al. Spatiotemporal Dynamics of *Betula pendula* Crown Cover on Abandoned Arable Land in a Broad-Leaved Forest Zone of Bashkir Cis-Ural. *Forests*. 2024;15(1):34. DOI: 10.3390/f15010034
6. Suleymanov A., Bogdan E., Gaysin I. et al. Spatial high-resolution modelling and uncertainty assessment of forest growing stock volume based on remote sensing and environmental covariates. *Forest Ecology and Management*. 2024;554:121676. DOI: 10.1016/j.foreco.2023.121676
7. Suleymanov A., Shagaliev R., Belan L. et al. Forest growing stock volume mapping with accompanying uncertainty in heterogeneous landscapes using remote sensing data. *Earth Science Informatics*. 2024; 17(6):5359–5369. DOI: 10.1007/s12145-024-01457-6
8. Santoro M., Cartus O.; Mermoz St. et al. A detailed portrait of the forest aboveground biomass pool for the year 2010 obtained from multiple remote sensing observations, Geophysical Research Abstracts, 20, EGU2018-18932. *Geophys. Res. Abstr.* 2018; 20(1):18932. DOI: 10.1594/PANGAEA.894711
9. Martini G., Zouros N., Zhang J. et al. UNESCO Global Geoparks in the “World after”: a multiple-goals roadmap proposal for future discussion. *Episodes*. 2021;3:1–7. DOI: 10.18814/epiugs/2021/021002
10. Fedorov N.I., Martynenko V.B., Zhigunova S.N., et al. Changes in the distribution of broad-leaved tree species in the central part of the Southern Urals since the second half of the 20th century. *Ecology*, 2021;2:103–111 (in Russian). DOI: 10.31857/S0367059721020050
11. Muldashev A.A., Maslova N.V., Galeeva A.Kh., et al. Rare plant species on the territory of the promising natural monument Mount Bikmash (Republic of Bashkortostan). *Ecobiotech* 2020;3(2):280-291 (in Russian). DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-2-280-291
12. Abramova L.M., Baisheva E.Z., Gabbasova I.M., et al. Unique natural monuments – the Tratau and Yuraktau shikhans. Ufa Institute of Biology of the Russian Academy of Sciences; Botanical Garden-Institute of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. Ufa: Gilem Publishing House, 2014:312 (in Russian).
13. Davydychev A.N., Gorichev Yu.P., Kulagin A.Yu. et al. Renewal processes under the canopy of broad-leaved-dark coniferous forests of the Southern Urals. *Forest Science*. 2011;2:51–61 (in Russian).
14. Samsonova I.D., Nurkaeva M.R., Sattarov V.N. et al. Assessment of the bioresource potential of *Tilia cordata* plantings in the Toratau Geopark of the Republic of Bashkortostan using digital technologies. *Bulletin of the Gorsk State Agrarian University*. 2022; 59-4:191-197 (in Russian). DOI: 10.54258/20701047_2022_59_4_191
15. Law B.E., Berner L.T., Buotte P.C. et al. Strategic Forest Reserves Can Protect Biodiversity in the Western United States and Mitigate Climate Change. *Commun. Earth Environ.* 2021;2:254. DOI:10.1038/s43247-021-00326-0
16. Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Kraev G.N. A Twenty Year Retrospective on the Forest Carbon Dynamics in Russia. *Contemp. Probl. Ecol.* 2011;4:706–715. DOI: 10.1134/S1995425511070022
17. Smirnova I.O., Rusanova A.A., Kamyshnikova N.V. Analysis of ice cover characteristics of lakes in Bolshezemelskaya tundra based on ALOS PALSAR radar data. *Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space*. 2017;14(7):198–209 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-198-209
18. Chimitdorzhiev T.N., Kirbizhekova I.I., Leonov A.S. et al. Formation and development of permanent cracks in the ice cover of Lake Baikal according to ALOS PALSAR data. *News of universities. Physics*. 2012;55(8-2):276–277 (in Russian).
19. Kirbizhekova I.I., Chimitdorzhiev T.N., Dvornikov Yu.A. et al. Monitoring of cryogenic processes of the Yamal Peninsula based on TANDEM-X and ALOS-2 PALSAR-2 radar data. *Computational technologies*. 2018;23(4):50–64 (in Russian).

20. Baranov Yu.B., Kantemirov Yu.I., Kiselevsky E.V. et al. Construction of DEM based on the results of interferometric processing of ALOS PALSAR radar images. *Geomatics*. 2008;1:37–45 (in Russian).
21. Kirbizhekova I.I., Batueva E.V. Study of seasonal changes in forest vegetation of the Baikal region based on ALOS PALSAR polarimetric data. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering*. 2016;327(3):103–110 (in Russian).
22. Kirbizhekova I.I., Chimitdorzhiev T.N., Garmayev A.M. et al. Cartography of forest resources of the Republic of Buryatia based on polarimetric data ALOS PALSAR and multispectral data SPOT5. *Inter Expo Geo-Siberia*. 2013;4(1):129–133 (in Russian).
23. Savorsky V.P., Zakharov A.I., Zakharova L.N., et al. Complex analysis of the results of optical and radar observations of forest covers. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2013;10(4):213–223 (in Russian).
24. Babiy I.A., Im. S.T., Kharuk V.I. Assessment of aboveground biomass by forest radar methods. *Siberian Ecological Journal*. 2022; 29(5):487–506 (in Russian). DOI 10.15372/SEJ20220501
25. Sidorenkov V.M., Kushnir O.V., Badak L.V. et al. Forest taxing capabilities based on radar satellite survey data. *Exploring the Earth from space*. 2021; (5): 72–84 (in Russian). DOI 10.31857/S0205961421050080
26. Sidorenkov V.M., Astapov D.O., Achikolova Yu.S., et al. Methods of forest-based decoding of radar satellite imagery in the mountain forests of Southern Siberia. *Forestry information*. 2024; (1): 67–80 (in Russian). DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.1.05
27. Hernández-Stefanoni J.L., Castillo-Santiago M.Á., Mas J.F. et al. Improving aboveground biomass maps of tropical dry forests by integrating LiDAR, ALOS PALSAR, climate and field data. *Carbon Balance Manage*. 2020; 15:15. DOI: 10.1186/s13021-020-00151-6

Сведения об авторах

БОГДАН Екатерина Александровна – к.э.н., в.н.с. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», доц., ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологии», ORCID: 0000-0003-0566- 2639, ResearcherID: ACM-8732-2022, Scopus Author ID: 57807449000, SPIN: 1764-5816

E-mail: eavolkova@bk.ru

БЕЛАН Лариса Николаевна – д.г.-м.н., дир. «Центр технологий декарбонизации» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», проф. ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологии», ORCID: 0000-0003-3098-7881, ResearcherID: AAD-2968-2022, Scopus Author ID: 56671294600, SPIN: 6752-0990

E-mail: belan77767@mail.ru

БАХТИЯРОВА Роза Сагитовна – к.т.н., доц., ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Scopus ID: 59487296300, SPIN-код: 4156-9852

E-mail: rozaishakova@yandex.ru

ВИТЦЕНКО Анастасия Юрьевна – асс. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», ORCID: 0009-0001-9867-0760, ResearcherID: CAF-0307-2022, Scopus ID: 59487259600, SPIN-код: 8875-3255

E-mail: nastya-vitcenko@mail.ru

ТУКТАРОВА Ирэн Ольвертовна – к.т.н., зав. каф., ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», ORCID: 0000-0003-4731-1394, ResearcherID: H-6747-2017, Scopus Author ID: 6701446968, SPIN-код: 7878-0414

E-mail: umrko@mail.ru

ГУМЕРОВ Ринат Русланович, инженер, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

E-mail: lestrigonna@yandex.ru

About the authors

Ekaterina Alexandrovna BOGDAN – Cand. Sci. (Economics), Leading Researcher, Ufa State Petroleum Technological University; Associate Professor, Ufa University of Science and Technology, ORCID: 0000-0003-0566- 2639, ResearcherID: ACM-8732-2022, Scopus Author ID: 57807449000, SPIN: 1764-5816

E-mail: eavolkova@bk.ru.

Larisa Nikolaevna BELAN – Dr. Sci. (Geological and Mineralogy), Director, Center for Decarbonization Technologies, Ufa State Petroleum Technological University; Professor, Ufa University of Science and Technology, ORCID: 0000-0003-3098-7881, ResearcherID: AAD-2968-2022, Scopus Author ID: 56671294600, SPIN: 6752-0990

E-mail: belan77767@mail.ru

Roza Sagitovna BAKHTIYAROVA – Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University, ORCID: -, ResearcherID: -, Scopus ID: 59487296300, SPIN-код: 4156-9852

E-mail: rozaiskhakova@yandex.ru

Anastasia Yuryevna VITSENKO – Assistant Lecturer, Ufa State Petroleum Technological University, ORCID: 0009-0001-9867-0760, ResearcherID: CAF-0307-2022, Scopus ID: 59487259600, SPIN-код: 8875-3255

E-mail: nastya-vitcenko@mail.ru

Irene Olvertovna TUKTAROVA – Cand. Sci. (Engineering), Head of the Department, Ufa State Petroleum Technological University, ORCID: 0000-0003-4731-1394, ResearcherID: H-6747-2017, Scopus Author ID: 6701446968, SPIN-код: 7878-0414

E-mail: umrko@mail.ru

Rinat Ruslanovich GUMEROV – engineer, Ufa State Petroleum Technological University

E-mail: lestrigonna@yandex.ru

Вклад авторов

Богдан Е.А. – разработка концепции, методология, проведение исследования, верификация данных, создание черновика рукописи

Белан Л.Н. – руководство исследованием, проведение исследования, верификация данных, получение финансирования

Бахтиярова Р.С. – проведение исследования, проведение статистического анализа, редактирование рукописи

Витценко А.Ю. – проведение исследования, верификация данных, визуализация

Туктарова И.О. – администрирование проекта, ресурсное обеспечение исследования

Гумеров Р.Р. – проведение исследования

Authors' contribution

Bogdan E.A. – conceptualization, methodology, investigation, validation, writing – original

Belan L.N. – supervision, investigation, validation, funding acquisition.

Bakhtiyarova R.S. – investigation, formal analysis, writing – review & editing

Vitsenko A.Y. – investigation, validation, visualization

Tuktarova I.O. – project administration, resources

Gumerov R.R. – investigation

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest

Поступила в редакцию / Submitted 13.05.25

Принята к публикации / Accepted 27.05.25

РЕДКИЕ РАСТЕНИЯ ТАЙГИ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО ОКРУГА – ЮГРЫ КАК ОТРАЖЕНИЕ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ПРИРОДЫ ТЕРРИТОРИИ

Большаник П.В.¹, Кузнецова С.Б.^{2*}

¹Омский государственный педагогический университет, Омск, Россия

²Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

*svetl_08.72@mail.ru

Аннотация

Для успешной реализации исследований экосистем и прогноза их состояния в будущем изучение истории развития природы территорий представляет несомненный интерес. Важными направлениями таких исследований является изучение палеогеографического развития территории конкретного региона и тесно с ним связанной истории развития флоры. Редкие растения могут выступать в роли индикатора путей расселения растений, так как изучение их распространения помогает понять генезис флоры и растительности. Среди редких растений традиционно значительную долю составляют реликты. При этом реликтовый вид является выразителем процесса исторического развития флоры. Исследуются возможные пути миграции редких сосудистых растений Югры для дополнения знаний об историческом развитии флоры тайги Западной Сибири. Палеогеографический анализ проводили по литературным данным. Для распределения сосудистых растений Красной книги Югры (2024) по типам флор использовали названия физико-географических стран. При исследовании популяций или единичных находений редких растений использовали традиционные методики изучения флористического богатства участка, заложения рекогносцировочных маршрутов с фотографированием видов флоры, проведения геоботанического и ландшафтных профилей, описания характерных геосистем, выполнения ландшафтного картографирования с характеристикой рельефа ключевого участка. Онтогенетические состояния растений выделены по общепринятым методикам. В статье приведены возможные пути миграций редких сосудистых растений Югры для дополнения знаний об историческом развитии флоры тайги Западной Сибири. Показано, что формирование современной флоры тайги Западной Сибири происходило в основном в голоцене в результате миграции растений на освободившиеся участки суши с соседних территорий: Урала, Восточно-Европейской равнины, Восточной Сибири, арктической и субарктической части Западной-Сибири. В современных условиях, при наблюдающемся климатическом тренде на повышение среднегодовых температур воздуха, флора выступает индикатором происходящих изменений. Необходимо дальнейшее изучение истории формирования флоры Югры, для оценки происходящих изменений и прогнозирования дальнейших путей развития растительности и ландшафтов в целом.

Ключевые слова: тайга, Западная Сибирь, флора, редкие растения, реликтовые растения, рефугиум, флорогенез, ландшафты, палеогеографическое развитие природы, Югра.

Для цитирования: Большаник П.В., Кузнецова С.Б. Редкие растения тайги Ханты-Мансийского округа – Югры как отражение истории развития природы территории. *Вестник СВФУ*. 2025;(2): 68-80. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-68-80

RARE PLANTS OF THE TAIGA OF KHANTY-MANSIYSK OKRUG – YUGRA AS A REFLECTION HISTORY OF THE TERRITORY'S NATURAL DEVELOPMENT

Petr V. Bolshanik¹, Svetlana B. Kuznetsova^{2}*

¹Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia

²Ugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

*svetl_08.72@mail.ru

Abstract

For the successful implementation of ecosystem research and forecasting their condition in the future, the history of the development of the territories nature study is of undoubted interest. An important area of such research is the study of the paleogeographic development of the territory of a particular region and the closely related history of flora development. Rare plants can act as an indicator of plant dispersal routes, as studying their distribution helps to understand the genesis of flora and vegetation. Relics traditionally make up a significant proportion of rare plants. At the same time, the relict species is an expression of the historical development of the flora. The purpose of the study was to study possible migration routes of rare vascular plants of Yugra to supplement knowledge about the historical development of the taiga flora of Western Siberia. Paleogeographic analysis was carried out according to the literature data. The names of physico-geographical countries are used for the distribution of vascular plants of the Red Book of Yugra (2024) by flora types. When studying populations or single occurrences of rare plants, traditional methods were used to study the floristic richness of the site, map reconnaissance routes with photographing flora species, conduct geobotanical and geomorphological profiles, describe characteristic landscapes, and perform landscape mapping with characteristics of the relief of a key site. The ontogenetic states of plants were identified according to generally accepted methods. The article presents possible migration routes of rare vascular plants of Yugra to supplement knowledge about the historical development of the taiga flora of Western Siberia. It is shown that the formation of the modern flora of the taiga of Western Siberia occurred mainly in the Holocene as a result of the migration of plants to vacant land areas from neighboring territories: the Urals, the East European Plain, Eastern Siberia, the Arctic and Subarctic belts. In modern conditions, while observing climatic trend towards an increase in average annual air temperatures, flora acts as an indicator of ongoing changes. The further study of the history of the Yugra flora formation is necessary in order to assess the changes taking place and predict further ways of developing vegetation and landscapes in general.

Keywords: taiga, Western Siberia, flora, rare plants, relict plants, refugium, florogenesis, landscapes, paleogeographic development of nature, Yugra

For citation: Bolshanik P.V., Kuznetsova S.B. Rare plants of the taiga of Khanty-Mansiysk okrug – Yugra as a reflection history of the territory's natural development. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*. 2025;(2):68–80 (in Russian) DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-68-80

Введение

Для успешной реализации исследований экосистем и прогноза их состояния в будущем изучение истории развития природы территорий представляет несомненный интерес. Важными направлениями таких исследований является изучение палеогеографического развития территории конкретного региона и тесно с ним связанной истории развития флоры.

Как отмечал А.И. Толмачев (1986), «процесс флорогенеза... всегда протекает автохтонно, независимо от автохтонности или аллохтонности (миграционного происхождения) объединяющихся в этом комплексе элементов. Флор, сложившихся где-либо в одном месте и целиком переселяющихся на другое пространство без изменения своего состава, нельзя себе представить. Даже в том случае, если происходит заселение пространства, совершенно лишенного растительности (например, в случае осушения морского дна или при освобождении земной

поверхности от ледникового покрова [что происходило в таежной зоне Западной Сибири]), совокупность заселяющих его видов не может совпадать с составом флоры, ранее сложившейся где-либо на смежном пространстве» [1]. Становление флоры происходит за счет компонентов, возможно, преобразованных, но существовавших ранее на этой территории и видов, вторгающихся извне.

Занимая центральное место в таежной зоне Западной Сибири, Ханты-Мансийский автономный округ-Югра обладает ландшафтами всех подзон тайги: северной, средней и южной и поэтому может являться репрезентативной территорией для анализа всей зоны тайги Западной Сибири. Исследование флоры Западной Сибири происходило в границах Ханты-Мансийского автономного округа-Югры¹.

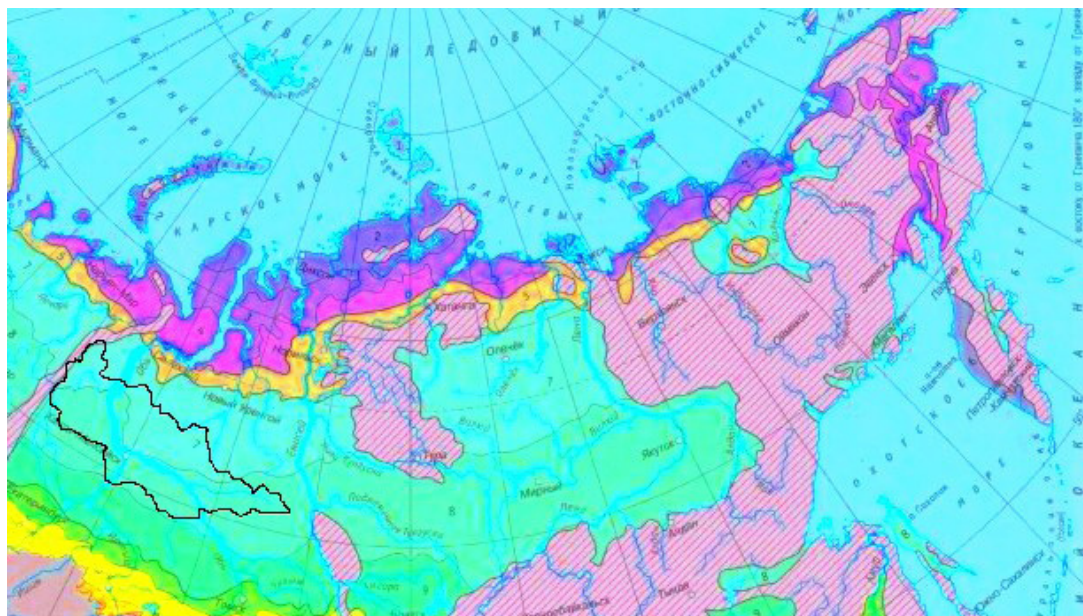


Рис. 1. Схема размещения границ территории Югры на карте природных зон северо-востока России

Fig. 1. The layout of the borders of the territory of Yugra on the map of natural areas of the north-east of Russia

Оледенения, трансгрессии моря, смена холодных и теплых эпох свидетельствуют о молодости ландшафтов, а, следовательно, и молодости флоры, которая находится в процессе формирования и адаптации к условиям среды. Принимая во внимание, что во время последнего оледенения таежная зона Западной Сибири была затоплена пресноводным озером, отмечаем, что формирование современной флоры здесь происходило в основном в голоцене в результате миграции растений на освободившиеся от затопления участки суши [2].

Изучив представителей флор соседних территорий в местной флоре, мы можем выявить пути миграции растений на территорию Югры. А редкие растения могут выступать в роли индикатора путей расселения растений, так как изучение их распространения помогает понять генезис флоры и растительности. Среди редких растений традиционно значительную долю составляют реликты. При этом реликтовый вид является выразителем процесса исторического развития флоры [2, 3]. Сохранившиеся в рефугиумах – местах относительно сходных с условиями их прежнего широкого распространения, реликты являются свидетелями прошлых геологических эпох.

¹ Ханты-Мансийский автономный округ-Югра имеет официальный сокращенный вариант названия – Югра.

Цель исследования: изучение возможных путей миграций редких сосудистых растений Югры для дополнения знаний об историческом развитии флоры тайги Западной Сибири.

Материалы и методы исследования

Палеогеографический анализ проводили по литературным данным и собственным исследованиям [1-25].

Для распределения покрытосеменных растений Красной книги Югры [21] по типам флор использовали названия физико-географических стран [22].

Результаты

Для начала рассмотрим палеогеографическую историю Западной Сибири. Палеогеновые ландшафты и соответственно растительность отличаются от современных. Значительная часть Средней Азии и Западной Сибири были затоплены мелководными морями. Моря занимали Кавказ, юг Восточно-Европейской равнины. Климат палеогена значительно более влажный и теплый, чем сейчас (табл.1). На большей части, свободной от воды, преобладали тропические и субтропические леса, в флористическом составе которых встречались пальмы. В палеогене разнообразные широколиственные леса произрастали даже в Арктике [5, 6].

Вследствие неотектонических поднятий в олигоцене Западно-Сибирское море отделяется от Арктического бассейна. Начинается процесс континентального осадконакопления и формирования ландшафтов суши. Наибольшая мощность континентальных отложений (озерно-аллювиальные песчано-глинистые и озерные, преимущественно глинистые) характерна для южной половины равнины, где она достигает 1-2 км.

Таблица 1

Палеогеографическое развитие природы территории Югры в кайнозое

Table 1

Paleogeographic development of the Yugra territory nature during Cenozoic stage

Период	Эпоха	Климат	Растительный мир
Неоген	Плиоцен	Более теплый климат, чем климат современной эпохи	В начале эпохи – вымирание теплолюбивых видов, в сухие периоды господствуют степи, появляются хвойные леса
	Миоцен	Жаркий и периодически засушливый климат субтропического пояса	Широколиственные леса из граба, дуба, бука, липы, клена, растительность саванн на юге Западной Сибири
Палеоген	Оligоцен	Теплый и влажный климат	Смешанные леса с субтропическими растениями (кипарисы, платаны)
	Эоцен	Тропический морской климат	-

Вследствие изменения климата, уже в палеогене, наблюдается трансформация ландшафтов влажных тропических и субтропических лесов, которая протекает по двум направлениям: аридизации и похолодания.

Усиление континентальности климата вначале охватило Среднюю Азию, а затем распространилось на территорию Казахстана и юга Западно-Сибирской равнины. Влажные тропические леса сменились в начале саваннами.

Формирование листопадной (тургайской) флоры началось на северо-востоке Сибири. Изменение климата привело к тому, что тургайская флора вытеснила тропическую (полтавскую) флору. Леса тургайского типа теплолюбивые, в них встречались бук, ольха, каштан, платан, береза и другие. Все эти виды с крупными листовыми пластинками.

Климат плиоцена отличается от миоцена более холодными условиями [7]. Трансформация растительности происходила в виде вымирания и миграции теплолюбивых видов и замене их на более холодостойкие. Аридизация привела к появлению саванной растительности, вместо лесной, а постепенное похолодание – к превращению саванн в степи. На границе степной и лесной зон формируются лесостепные ландшафты. Древесная растительность занимает понижения рельефа, а степная формируется на водораздельных равнинах. В позднем плиоцене, похолодание привело к исчезновению широколиственных пород и вытеснении темнохвойными лесами мелколиственных.

Местом формирования нового таежного типа растительности в неогене были горные хребты Северо-Восточной Сибири. Во время господства тургайской растительности тайга существовала здесь в качестве высотного пояса, а затем спустилась с гор и проникла на всю территорию Сибири. К этому времени относится и зарождение, в качестве высотного пояса, тундровых ландшафтов. Одновременно с тайгой происходит формирование ландшафтов безлесных моховых и травянистых болот.

Общее похолодание климата, происходившее в неогене, привело к развитию в раннем плейстоцене дьямского оледенения. Кроме дьямского выделяют самаровское, тазовское (его считают стадией самаровского), зырянское и сартанское оледенения. Самаровское оледенение, граница которого проходила субширотно вблизи 60° с.ш. было максимальным. Все меньшую площадь занимало каждое последующее оледенение. Горно-долинное сартанское оледенение оказало на природу Западной Сибири лишь косвенное влияние. Формирование первой надпойменной террасы Иртыша происходило в период сартанского оледенения [8].

Приледниковые водоемы мигрировали к северу вслед за краем ледника по мере его отступления. Талые воды перебивали оставленную ледником морену (рис. 2), сглаживая холмисто-моренный рельеф и перекрывая его водно-ледниковыми отложениями [9].



Рис. 2. Ледниковые валуны в русле Оби (фото автора).

Fig. 2. Glacial boulder in the Ob's bed

На свободных от льда и воды площадях в периоды оледенений на территории Югры происходило глубокое промерзание грунтов, образование многолетней мерзлоты и накопление лесовидных суглинков.

Преобладание отложений лессовидных суглинков на территориях свободных от подпрудных озер связано с покровными ледниками северной части Западной Сибири. Пыль выдувалась из ледниковых отложений и доставлялась на юг высотными региональными ветрами.

Во время ледниковых периодов происходило накопление материала террас, т.е. формирование пойм, а в межледниковье – врезание рек и обособление пойм в надпойменные террасы.

Безлесная перигляциальная зона на территории Югры существовала в плейстоцене. Отмечается незначительное участие более холодостойких древесных пород. Границы ландшафтных зон были сдвинуты далеко на юг по сравнению с современным положением [10].

Ранее выдвигалась гипотеза, что в эпоху оледенения вся теплолюбивая флора погибла, за исключением той, что нашла убежище в горах. Но палеоботанические исследования свидетельствуют о том, что климат ледниковой эпохи хотя и был резко континентальным, но не настолько, чтобы на некотором отдалении от ледника не могла существовать относительно богатая фауна и флора, в том числе и обедненная широколиственная.

Сокращение площади лесов, особенно широколиственных, и возрастание роли открытых степных и лесостепных ландшафтов происходило в ледниковую эпоху. Современную Восточно-Сибирскую березово-осиново-лиственничную лесостепь напоминала ледниковая лесостепь [11].

Во второй половине ледниковой эпохи широкое распространение получил тундровый тип ландшафта. Само возникновение арктических животных и растений, входящих в тундровый ландшафт, относится к более раннему времени, скорее всего, к неогену. Материковые оледенения вызвали миграцию арктических видов в средние и даже южные широты страны. С окончанием ледниковой эпохи арктические виды закрепились на крайнем севере, образовав на равнинах тундровую зону.

В начале позднего плейстоцена в зональной структуре произошли новые изменения, связанные с потеплением климата и таянием ледников (табл. 2).

Таблица 2

Палеогеографическая история развития территории Югры в антропогене

Table 2

Paleogeographic development of the Yugra territory nature during Anthropogen stage

Эпоха и время	Абсолютный возраст	Климат	Растительный мир
Голоцен поздний	0,5–1,5 тыс. лет назад	Современный климат, в начале времени несколько более прохладный и сухой	Установление современной зональности растительного покрова, в начале времени – развитие сфагновых болот на месте гипновых
	2–2,5 тыс. лет назад	Средняя температура: Лето – 15–17 °С Зима – -19–22°С Осадки – 450–600 мм	Хвойно-мелколиственные леса, луга и болота
	3–4,5 тыс. лет назад	Средняя температура: Лето – 12–15 °С Зима – -22–26 °С Осадки– 400–550 мм	Лесотундра, лиственничные, пихтовые, еловые, осиново-березовые, кедрово-березовые и сосновые леса, исчезают широколиственные породы

Голоцен средний	5–6 тыс. лет назад	Оптимум голоцена Средняя температура: Лето – 18-21 °С Зима – -18-22 °С Осадки – 550-700 мм	На юге округа – березово-осиновые леса с редкой примесью широколиственных пород (липа), на остальной территории господствуют сосново-березовые, кедровые леса с пихтой и елью
	6,5–8 тыс. лет назад	Влажная и прохладная эпоха Средняя температура: Лето – 13-14 °С Зима – -22-28 °С Осадки – 500-600 мм	Образование болот и торфяников. Формируется единый Васюганский массив. Тундра, лесотундра и березовые леса с елью, сосной и карликовой березкой;
Голоцен ранний	8,5–10 тыс. лет назад	Влажная и холодная эпоха Средняя температура: Лето – 10-13 °С Зима – -25-29 °С Осадки – 450-500 мм	Перигляциальные степи с елово-лиственными и березовыми редколесьями по долинам рек сменяются еловыми и березовыми лесами и лесотундровыми группировками
Голоцен древний	10–12 тыс. лет назад	Сухая и очень холодная эпоха с двумя периодами небольшого повышения температуры и увлажнения	Перигляциальные степи и тундровые группировки. Редкостойные березовые леса встречаются лишь по долинам рек
Плейстоцен	2 млн. лет назад	Чередование периодов с оледенениями и теплыми межледниковьями	В начале эпохи – гибель голосеменной растительности. Чередование тундростепей в периоды оледенений и редколесий в межледниковья

Для развития растительности в плейстоцене характерна цикличность. В межледниковье для территории Югры хорошо выражена широтная зональность, а в ледниковые периоды – почти полное ее отсутствие. Эти периодические перестройки растительности влияли на ритмичность миграций, появлении новых и массового вымирания прежних видов [12, 13].

Для межледниковых ландшафтов характерны: интенсивный биологический круговорот, высокие скорости почвообразования, минимальные скорости осадконакопления, сезонный характер криогенных процессов.

Для ландшафтов оледенения отмечают противоположные процессы: низкие скорости почвообразования и биологического круговорота, усиление осадконакопления, многолетний режим криогенных процессов [14].

Однако при таких миграционных волнах растительность не исчезает полностью, а частично наследуются последующими ландшафтами, что в итоге дает картину усложнения флоры [15].

Васюганский болотный массив, возникнув при благоприятных климатических условиях атлантической хронозоны, не исчез полностью при засушливой суббореальной хронозоне, а сохранился в виде фрагментов, от которых затем (при благоприятных климатических условиях) вновь стал расширять свою территорию.

Реликтовые виды флоры, усложняя общую пространственную структуру растительности, служат резервным фондом, для сохранения общего биологического разнообразия и являются причиной устойчивости ландшафтов.

В древнем голоцене (12 тыс. лет назад) климат был холодный и сухой. В это время формируется гривный рельеф современных сосновых лесов. В растительном покрове господствовала перигляциальная степь, по долинам рек распространялись березняки, встречалась и тундровая растительность [16].

Во время раннего голоцена (8,5–10 тыс. лет назад) средние температуры теплого и холодного периодов были ниже современных. Происходило постепенное увеличение разреженных

тундрово-лесных ландшафтов. По палинологическим данным [17] среди лесной растительности преобладали ель, береза, на севере – карликовая березка. На водоразделах преобладали по- лынно-маревые ассоциации.

Во время среднего голоцена (3-8 тыс. лет назад) происходит развитие растительности болот, распространяются хвойно-мелколиственные леса. В древесном ярусе господствуют береза, ель, сосна, пихта и вяз; в травяном покрове: злаки и разнотравье; по болотам – карликовая березка.

В атлантическую (влажную) хронозону интенсивно развивается болотный тип ландшафтов. Господствуют хвойно-мелколиственные леса. В древесном ярусе господствуют: ель, сосна, береза, пихта и вяз; в травяном покрове: злаки и разнотравье; по болотам – карликовая березка.

Конец атлантической и начало суббореальной хронозон характеризуется резким потеплением и некоторым уменьшением выпадения осадков. Происходит частичное обмеление и осушение озер, деградация болот. Многие бореальные виды произрастали в пределах современной тундры, на юге заметно расширились границы степной зоны [19].

Середина суббореальной эпохи характеризуется несколько более влажным и прохладным климатом. Происходит наступление леса на степь [2].

Похолодание и повышение влажности климата способствует развитию кедровых лесов, а с усилением болотообразовательного процесса увеличивается лесообразовательная роль сосны.

В начале субатлантической хронозоны климатические условия приближаются к современным. Повышается уровень водоемов. В растительном покрове преобладают группировки аналогичные современной структуре.

В начале позднего голоцена (около 2,5-3 тыс. лет назад) начинают преобладать ландшафты, аналогичные современным природным ландшафтам тайги, мелколиственных лесов.

В позднем голоцене в более сухие периоды происходит сокращение в таежной зоне доли ельников и пихтачей. В более прохладные и влажные – исчезали широколиственные породы.

Изучение распространения редких растений помогает понять генезис флоры и растительности. Всего в Красную книгу Югры внесено 126 покрытосеменных растений, из которых в таежной зоне Югры отмечено 71 растение. Исключительно на Урале отмечены 55 покрытосеменных растений, их распространения в таежную зону пока не отмечено, поэтому для анализа они не использовались.

В табл. 3 представлен анализ возможных путей проникновения редких покрытосеменных растений на таежную территорию Югры.

Следует отметить, что в таблицу не внесены почти все краснокнижные виды семейства Orchidaceae: *Coeloglossum viride* (L.) C. Hartm., *Cypripedium calceolus* L., *C. guttatum* Sw., *C. macranthos* Sw., *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo, *D. maculata* (L.) Soo, *D. traunsteineri* (Saut) Soo s. l., *Epipogium aphyllum* Sw., *Epipactis palustris* (L.) Crantz, *Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br., *Hammarbya paludosa* (L.) O. Kuntze, *Listera ovata* (L.) R. Br., *Malaxis monophyllos* (L.) Sw., *Spiranthes amoena* (Bieb.) Spreng., *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Neottianthe cucullata* (L.) Schltr, *Liparis loeselii* (L.) Rich. Эти виды имеют широкую географию распространения. К первичному ареалу древних орхидей относят область Южного Китая [24]. Но пути их миграции на территорию тайги Западной Сибири до конца не изучены. Только для *D. traunsteineri* исходя из современного общего распространения, можно предположить, что на территорию Югры он проник с территории Восточной Европы.

Реликты неморального комплекса третичного периода *Asarum europaeum*, *Scrophularia nodosa*, пришли в Югру с Восточной Европы по долинам рек, глубоко вдающимся в рельеф и являющиеся естественными коридорами для миграции равнинных растений.

В таежной зоне Югры есть редкие реликты ледникового и позднеледникового периодов. Они, в противоположность реликтам третичного периода являются свидетелями минувшего холодного периода. Это холодостойкие растения, пережившие оледенение неподалеку от ледника, а после потепления оставшиеся произрастать на прежнем месте: *Pinguicula villosa*, *Sophianthe samojedorum*.

Таблица 3

Редкие растения и пути их проникновения на территорию Югры

Table 3

Rare plants and their ways of getting into the Yugra territory

Восточно-Европейская флора	Уральская флора	Восточно-Сибирская флора	Арктическая флора	Центрально-азиатская флора
1. <i>Asarum europaeum</i> L. 2. <i>Nymphaea candida</i> J. Presl 3. <i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull 4. <i>Chimaphilla umbellata</i> (L.) W. Barton 5. <i>Hypopitys monotropa</i> Crantz 6. <i>Cortusa matthioli</i> L. 7. <i>Elatine triandra</i> Schkuhr 8. <i>Nymphoides peltata</i> (S. G. Gmel.) O. Kuntze 9. <i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop 10. <i>Pulmonaria mollis</i> Wulf. ex Hornem. 11. <i>Scrophularia nodosa</i> L. 12. <i>Gagea granulosa</i> Turcz. 13. <i>Dactylorhiza traunsteineri</i> (Saut.) Soó s. L. 14. <i>Galium triflorum</i> Michx. 15. <i>Pedicularis sceptrum-carolinum</i> L.	1. <i>Oxytropis ivdelensis</i> Knjasev 2. <i>Lathyrus humilis</i> (Ser.) Spreng 3. <i>Tilia cordata</i> Mill.	1. <i>Viola brachyceras</i> Turcz. 2. <i>Astragalus uliginosus</i> L. 3. <i>Thymus sibiricus</i> (Serg.) Klovov 4. <i>Allium microdictyon</i> Prokh 5. <i>Lilium pilosiusculum</i> (Freyen) Misch. (L. martagon L. s. l.) 6. <i>Iris sibirica</i> L. 7. <i>Luzula rufescens</i> Fischer ex E. Meyer 8. <i>Carex arnelii</i> Christ ex Scheutz 9. <i>Schizachne callosa</i> (Turcz. ex Griseb.) Ohwi	1. <i>Sophianthe samojedorum</i> (Sambuk) Tzvel. 2. <i>Lychnis samojedorum</i> (Sambuk) Sambuk ex Perf. 3. <i>Cardamine nymmanii</i> Gand. 4. <i>Chrysosplenium tetrandrum</i> (Lund ex Malmgr.) Th. Fries 5. <i>Aster sibiricus</i> L. 6. <i>Pinguicula alpina</i> L. 7. <i>Pinguicula villosa</i> L. 8. <i>Astragalus frigidus</i> (L.) A. Gray 9. <i>Baethryon alpinum</i> (L.) Egor. 10. <i>Saxifraga hirculus</i> L. 11. <i>Carex livida</i> (Wahlenb.) Willd.	1. <i>Trollius asiaticus</i> L. 2. <i>Pulsatilla angustifolia</i> Turcz. 3. <i>Paonia anomala</i> L. 4. <i>Dianthus versicolor</i> Fisch. ex Link 5. <i>Cotoneaster melanocarpus</i> Fisch. ex Blytt 6. <i>Polygala wolfgangiana</i> Bess. ex Szafer, Kulcz. et Pawł. 7. <i>Veronica spicata</i> L. 8. <i>Dendranthema zawadskii</i> (Herbich) Tzvel. 9. <i>Saussurea parviflora</i> (Poir.) DC 10. <i>Eremogone saxatilis</i> (L.) Ikonn. 11. <i>Lathyrus gmelinii</i> Fritsch 12. <i>Carex sabinensis</i> Less. ex Kunth 13. <i>Carex obtusata</i> Lilj.

Плейстоценовые перигляциальные реликты азиатского происхождения *Carex sabinensis*, *Saussurea parviflora*, *Lathyrus humilis* точно встречаются в таежной зоне Югры. Отмечается два возможных пути появления их на этой территории. Первый путь через Урал по краю ледника, покрывавшего север Западной Сибири во время максимального оледенения [1]. Распространению семян, возможно, поспособствовала обширная речная сеть, стекающая с Урала в Югру. Если распространение этих видов на Урал было до оледенения, то второй путь был прямой – с востока в таежную зону современной Югры. В этом случае эти виды были ранее распространены здесь широко. Оледенение и затопление привело к сокращению и почти полному исчезновению. А условия Урала оказались более подходящими для их сохранения.

Ксеротермические реликты послеледникового периода лесостепных и лесотундрово-степных сообществ также сохранились на территории Югры. Это *Eremogone saxatilis*, *Carex obtusata*, *Dendranthema zawadskii*, *Polygala wolfgangiana*, *Veronica spicata*, *Calluna vulgaris*, *Cotoneaster melanocarpus*. Как указывает А.Л. Васина [25], ценоотические и хронологические различия этих видов показывают, что их проникновение на территорию Югры могло происходить неоднократно в различные фазы, начиная с заключительных фаз позднего плейстоцена.

Tilia cordata на зауральском отрезке ее ареала предполагается появилась не ранее времени климатического оптимума казанцевского межледникового [3]. Леса с липой достигли максимального распространения по речным долинам атлантической фазы раннего голоцена. В плейстоцене липа полностью исчезала в Западной Сибири. Скорее всего, она сохранилась в рефугиумах Урала. А опять в Западную Сибирь пришла в оптимум голоцена (6 тыс. лет назад). В настоящее время на территории Югры встречается по правому берегу р. Конда в верхнем и среднем течении и по её притокам. Единичные старые деревья и поросли отмечены на правом берегу р. Обь выше п. Кедровый.

Таким образом, формирование флоры Югры в голоцене происходило с территорий физико-географических стран, обладающих схожими физико-географическими условиями – Восточно-Европейской равнины, Восточной Сибири. Однако, часть видов пришла из Арктики и часть гор юга Сибири и степей Казахстана при меридиональной подвижке границ природных зон, вызванных четвертичными покровными оледенениями. При изменении границ природных зон арктические виды сохранялись в рефугиумах (верховых болотах), степные в автоморфных ландшафтах, формирующихся на песчаных и супесчаных отложениях. Ряд редких видов мигрировал с горных территорий Урала, где сохранялись в рефугиумах.

Ранее нами описаны местонахождения *Dactylorhiza incarnata* в окр. г. Ханты-Мансийска [26]. Отмечается, что крайне малочисленная популяция встречена в антропогенно измененном ландшафте – в дренажной канаве вблизи небольшого пруда вдоль дороги. Возможно, таежные орхидные пришли на территорию Югры во время полтавской флоры и адаптировались к холоду.

Заключение

Таким образом, формирование современной флоры тайги Западной Сибири происходило в основном в голоцене в результате миграции растений на освободившиеся участки суши с соседних территорий: Урала, Восточно-Европейской равнины, Восточной Сибири, арктического и субарктического поясов. В голоцене происходило несколько волн колебания увлажнения и теплообеспеченности. Однако эти колебания не были критичными для изменения границ природных зон. Происходило лишь обогащение флоры в теплые периоды и выпадение теплолюбивых видов в холодные периоды. Эти виды или исчезали полностью, или сохранялись в рефугиумах. В послеледниковое время реликтовые виды почти полностью исчезли на территории Западно-Сибирской равнины, так как здесь распространились растительные сообщества, в составе которых они произрастать не могут. Сохранившись в рефугиумах, эти растения являются свидетелями былых времен.

В современных условиях, при наблюдающемся климатическом тренде на повышение среднегодовых температур воздуха, флора выступает индикатором происходящих изменений. Необходимо дальнейшее изучение истории формирования флоры Югры, для оценки происходящих изменений и прогнозирования дальнейших путей развития растительности и ландшафтов в целом.

Литература

1. Толмачев А.И. *Методы сравнительной флористики и проблемы флорогенеза*. Новосибирск: Наука; 1986: 195.
2. Вульф Е.В. *Историческая география растений*. Москва: Юрайт; 2025: 695. URL: <https://urait.ru/bcode/565515> (дата обращения: 02.04.2025).

3. Науменко Н.И. История формирования растительного покрова Южного Зауралья в голоцене. *Вестник Курганского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2005; (4): 24-29.
4. Большаник П.В. *Региональное природопользование*. Москва: ИНФРА-М; 2018:177.
5. Марков К.К., Величко А.А. *Четвертичный период (Ледниковый период – антропогенный период)*. Москва: Недра; 1967: 440.
6. Марков К.К. *Палеогеография*. Москва: Изд-во МГУ; 1960: 268.
7. Волков И.А., Волкова В.С., Задкова И.И. *Покровные лессовидные отложения и палеогеография юго-запада Зап. Сибири в плиоцен–четвертичное время*. Новосибирск: Наука; 1969: 332.
8. Архипов С.А. *Палеогеография Западно-Сибирской равнины в максимум позднезырянского оледенения. Проект: Четвертичные оледенения северного полушария*. Новосибирск: Наука; 1980: 110.
9. Величко А.А. *Природный процесс в плейстоцене*. Москва: Наука; 1973: 256.
10. Волкова В.С. Стратиграфия и история развития растительности Западной Сибири в позднем кайнозое: Дисс. ... докт. геолого-минерал. наук. Новосибирск: 1975: 378.
11. Волкова В.С., Левина Т.П. Растительность голоцена Западной Сибири по палинологическим данным. *Развитие природы территории СССР в позднем плейстоцене и голоцене*. Москва: Наука; 1982: 186-192.
12. Ньюэлл Н.Д. Массовые вымирания – уникальные или повторяющиеся явления? *Катастрофы и история Земли. Новый униформизм*. Москва: Мир; 1986: 122-132.
13. Арманд А.Д. Развитие геосистем как процесс саморазвития. *Теоретические проблемы географии*. Ленинград: АИ и ГО СССР; 1983: 35-37.
14. Архипов С.А. Палеогеография Западно-Сибирской низменности в антропогенном периоде. *Основные проблемы изучения четвертичного периода*. Москва: Наука; 1965: 157-168.
15. Большаник П.В. Палеогеографическое развитие ландшафтов территории Омской области и процессы антропогенной трансформации природы. *Интеграция археологических и этнографических исследований*. – Владивосток–Омск: ОмГПУ; 2000: 64-65.
16. Большаник П.В. *Экологическая характеристика ландшафтов подтайги Омского Прииртышья*. Природа, природопользование и природообустройство Омского Прииртышья: Материалы III областной научно-практической конференции, г. Омск: Комитет природопользования по Омской области; 2001: 178-180.
17. Волкова В.С. Голоцен как эталон для изучения межледниковых эпох Западной Сибири. *Палиоистратиграфия мезозоя и кайнозоя Сибири*. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние; 1985: 74-84.
18. Величко А.А., Иванова И.К., Муратов В.М. и др. *Природа и развитие первобытного общества на территории Европейской части СССР*. Москва: Наука; 1969: 259.
19. Ясаманов Н.А. *Древние климаты Земли*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1985: 296.
20. Марков К.К., Гринчук В.П., Чеботарева Н.С. и др. Взаимоотношения леса и степи в историческом освещении. *Вопросы географии*. Москва: Наука; 1950: 85-120.
21. Красная книга Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: животные, растения, грибы. Кемерово: ООО «Вектор-принт»; 2024: 520 с.
22. Исаченко А.Г. *Ландшафтоведение и физико-географическое районирование*. Москва: Высшая школа; 1991: 365.
23. Bolshanik P.V., Kuznetsova S.B., Karaseva D.D. Natural features of the orchid refugium on the territory of the natural Park «Samarovsky Chugas». *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2021; 12 (1):15-26. DOI 10.17816/edgcc50667
24. Аверьянов Л.В. Происхождение и некоторые особенности эволюции, биологии и экологии орхидных. *Ботанический журнал*. 1991; 76 (10): 1345-1356.
25. Васина А.Л. Лесостепные сосудистые растения во флоре заповедника «Малая Сосьва» (Северное Зауралье). *Научные труды Государственного природного заповедника «Присурский»*. 2015; 30 (1): 63-66.

References

1. Tolmachyov A.I. *Methods of comparative floristic and problems of florogenesis*. Novosibirsk: Nauka; 1986:195 (in Russian).
2. Wolf E.V. *Historical geography of plants*. Moscow: Urait; 2025:695 (in Russian).

3. Naumenko N.I. History of crop canopy formation of the Trans-Urals during Holocene stage. *Proceedings of Kurgan State University. Series: Natural sciences*. 2005; (4):24–29 (in Russian).
4. Bolshanik P.V. *Regional natural management*. Moscow: INFRA-M; 2018:177 (in Russian).
5. Markov K.K., Velichko A.A. *Quaternary (Glacier period – Anthropogene Period)*. Moscow: Mineral resources; 1967: 440 (in Russian).
6. Markov K.K. *Paleogeography*. Moscow: Moscow State University Press; 1960:268 (in Russian).
7. Volkov I.A., Volkova V.S., Zadkova I.I. *Covering loess-like deposit and paleogeography of South-West of the Western Siberia at the Pliocene-Quaternary time*. Novosibirsk: Nauka; 1969:332 (in Russian).
8. Arkhipov S.A. *Paleogeography of the West Siberian Plain in the maximum of Late Zyryansk glaciation. Project: Quaternary glaciations of the Northern hemisphere*. Novosibirsk: Nauka; 1980:110 (in Russian).
9. Velichko A.A. *Natural process during Pleistocene stage*. Moscow: Nauka; 1973:256 (in Russian).
10. Volkova V.S. Stratigraphy and history of the plant evolution of the Western Siberia during the late Cainozoe stage. Candidate's dissertation (Geology and Mineralogy). Novosibirsk; 1975:378 (in Russian).
11. Volkova V.S., Levina T.P. *Western Siberia flora during Holocene stage according to the palynological data. Evolution of the Nature of the USSR territory during late Pleistocene and Holocene stage*. Moscow: Nauka; 1982:186–192 (in Russian).
12. Newell N.D. *Mass extinctions – unique or recurring phenomena? Disasters and history of Earth. New uniformitarianism*. Moscow: Mir; 1986:122–132 (in Russian).
13. Armand A.D. *Evolution of geosystems as a process of self-development. Theoretical problems of Geography*. Leningrad: Publishing House “AE and CD of the USSR”; 1987: 35–37 (in Russian).
14. Arkhipov S.A. *Paleogeography of the West Siberian Plain during the Anthropogene Period. General problems of the Quaternary study*. Moscow: Nauka; 1965:157–168 (in Russian).
15. Bolshanik P.V. *Paleogeographic development of landscapes of the Omsk region territory and processes of anthropogenic transformation of the nature. Integration archeological and ethnographic studies*. Vladivostok – Omsk: Publishing House “OmSPU”; 2000:64–65 (in Russian).
16. Bolshanik P.V. Landscapes environmental characteristic of sub-boreal forest of Omsk Irtysh Land. *Nature, natural management and nature arrangement of Omsk Irtysh Land: Proceedings of the Third regional Scientific and Practical Conference*, Omsk: Committee for Nature Management of Omsk Region; 2001:178–180 (in Russian).
17. Volkova V.S. *Holocene as a sample for interglacial periods study of Western Siberia. Palinostratigraphy of Siberia during the Mezozoic and Cainozoe stage*. Novosibirsk: Nauka; 1985:74–84 (in Russian).
18. Velichko A.A., Ivanova I.K., Muratov V.M., et al. *Character and development of the primitive society on the European part territory of the USSR*. Moscow: Nauka; 1969:259 (in Russian).
19. Yasamanov N.A. *Ancient climates of Earth*. Leningrad: HydrometeoPublish; 1985:296 (in Russian).
20. Markov K.K., Grinchuk V.P., Chebotaryova N.S., et al. *Forests and plains interrelation in historical clarification. Issues of Geography*. Moscow: Nauka; 1950:85–120 (in Russian).
21. Khanty-Mansiysk autonomus okrug-Yugra Red Data Book: animals, Plants, mushrooms. Kemerovo: Vektor-print; 2024:520 (in Russian).
22. Isachenko A.G. *Landscape study and physical and geographical zoning*. Moscow: Vysshaya Shkola; 1991:365 (in Russian).
23. Bolshanik P.V., Kuznetsova S.B., Karaseva D.D. Natural features of the orchid refugium on the territory of the natural Park “Samarovsky Chugas”. *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2021; 12 (1):15–26. DOI 10.17816/edgcc50667.
24. Averyanov L.V. Origin and some features of evolution, biology and ecology of orchid family. *Botanic magazine*. 1991. (10); 76:1345–1346 (in Russian).
25. Vasina A.L. *Forest steppe vascular plants in flora of reserved area “Malaya Sosva” (Northern Trans-Urals). Scientific papers of The State nature reserve “Prisurskiy”*. 2015; (1)30:63–66 (in Russian).

Об авторах

БОЛЬШАНИК Петр Владимирович – к.г.н., доц., ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет», Омск, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0002-9118-2684, ResearcherID: rid105433, Scopus Author ID: 57205261617, SPIN: 4550-0033

E-mail: bolschpetr@mail.ru

КУЗНЕЦОВА Светлана Борисовна – к.б.н., доц., ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0002-7862-0715, SPIN: 5477-5242 ResearcherID: MVW-0625-2025

E-mail: svetl_08.72@mail.ru

About the authors

Petr V. BOLSHANIK – Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Omsk State Pedagogical University, ORCID ID: 0000-0002-7862-0715, SPIN: 5477-5242 ResearcherID: MVW-0625-2025

E-mail: svetl_08.72@mail.ru

Svetlana B. KUZNETSOVA – Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Ugra State University, ORCID ID: 0000-0002-7862-0715, SPIN: 5477-5242 ResearcherID: MVW-0625-2025

E-mail: svetl_08.72@mail.ru

Вклад авторов

БОЛЬШАНИК Петр Владимирович – разработка концепции, создание черновика рукописи, визуализация

КУЗНЕЦОВА Светлана Борисовна – проведение исследования, редактирование рукописи, администрирование проекта

Authors contribution

Petr V. Bolshanik – conceptualization writing, original draft, visualization

Svetlana B. Kuznetsova – investigation, writing – review & editing, project administration

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest

Поступила в редакцию / Submitted 09.04.2025

Принята к публикации / Accepted 23.04.25

ПОСТАНТРОПОГЕННАЯ ДИНАМИКА СЕЛИТЕБНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ НА ПРИМЕРЕ СЕЛА УСТЬ-ЮДОМА

М. И. Захаров, С. В. Федорова*

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова,

г. Якутск, Российская Федерация

*mi.zakharov@s-vfu.ru

Аннотация

Понимание динамики измененных человеком природных ландшафтов после минимализации антропогенного воздействия является важным направлением динамического ландшафтоведения. Проблема формирования заброшенных сельских поселений имеет предпосылки и тенденции к усилению в условиях урбанизации. Цель данного исследования выявить особенности постантропогенной трансформации сельских селитебных ландшафтов для заброшенного села Усть-Юдома Усть-Майского района Республики Саха (Якутия). Исследуемый регион расположен в среднетаежной ландшафтной зоне с прерывистым залеганием многолетнемерзлых пород. Ландшафтная структура территории исследования состоит из 12 типологических единиц, картированных на основе полевых исследований и интерпретации данных дистанционного зондирования. Отмечено, что антропогенно-модифицированные ландшафты села делятся на три типа по растительным ассоциациям: молодая поросль сосны, малинниково-шиповниковые разнотравные сообщества и иванчайно-злаковые луга. Проведен анализ разновременных снимков Landsat для выявления ключевых этапов постантропогенной динамики ландшафтов. Составлены карты основных типов ландшафтного покрова с использованием плагина Semi-Automatic Classification Plugin по алгоритму Random Forest. Значительная часть территории села характеризуется слабонарушенными сосновыми брусничными лесами с участием березы на мерзлотно-таежных суглинистых почвах. Наиболее антропогенно нарушенные территории частных усадебных участков состоят из зарослей малины с участием иванчайно-злаковых лугов и порослью сосны на мерзлотно-таежных суглинистых почвах. Используя снимки 1986 по 2024 установлены этапы восстановления сосновых лесов на безлесных участках села. Изучение постантропогенной динамики позволяет понять, как природные ландшафты восстанавливаются после прекращения человеческой деятельности. Это способствует развитию теоретических моделей природных процессов, выработке эффективной стратегии земельными ресурсами, а также помогает прогнозировать дальнейшие изменения сельских ландшафтов.

Ключевые слова: природно-антропогенный ландшафт, Усть-Юдома, ландшафтная структура, антропогенная трансформация, заброшенное село, селитебный ландшафт

Для цитирования: Захаров М. И., Федорова С. В. Постантропогенная динамика селитебных ландшафтов юго-восточной Якутии на примере села Усть-Юдома. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2025;(2): 81-93. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-81-93

POST-ANTHROPOGENIC DYNAMICS OF RURAL LANDSCAPES OF SOUTHEASTERN YAKUTIA IN THE CASE OF UST-YUDOMA VILLAGE

Moisei I. Zakharov*, Sakhaya V. Fedorova

M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

*mi.zakharov@s-vfu.ru

Abstract

Understanding the dynamics of human-modified natural landscapes after the minimization of anthropogenic impact is an important aspect of dynamic landscape science. The problem of formation of abandoned rural settlements has background and tendencies to intensify in the conditions of urbanization. The aim of this study is to identify the features of post-anthropogenic transformation of rural settlement landscapes for the abandoned village of Ust-Yudoma in the Ust-Maysky District of the Sakha Republic (Yakutia). The study region is in the middle taiga landscape zone with continuous permafrost. The landscape structure of the study area consists of 12 typological units mapped based on field studies and interpretation of remote sensing data. It is noted that anthropogenically-modified landscapes are divided into three types according to vegetation associations: young growth of pine, raspberry-hipberry mixed herbaceous communities and ivanchai-grass meadows. Multitemporal Landsat images were analyzed to identify key stages of post-anthropogenic landscape dynamics. Maps of the main landscape cover types were compiled using the Semi-Automatic Classification Plugin plugin according to the Random Forest algorithm. A significant part of the village territory is characterized by poorly disturbed pine lingonberry forests with participation of birch on permafrost-taiga loamy soils. The most anthropogenically disturbed territories of private homestead plots consist of raspberry thickets with participation of willow-grass meadows and pine overgrowth on permafrost-taiga loamy soils. Using the images from 1986 to 2024, the stages of pine forest regeneration in the non-forested areas of the village were established. The study of post-anthropogenic dynamics allows us to understand how natural landscapes recover after the cessation of human activity. This contributes to the development of theoretical models of natural processes, the development of effective land resource strategies, and helps to predict further changes in rural landscapes.

Keywords: natural-anthropogenic landscape, Ust-Yudoma, landscape structure, anthropogenic transformation, abandoned village, rural landscape

For citation: Zakharov M. I., Fedorova S. V. Post-anthropogenic dynamics of rural landscapes of southeastern Yakutia in the case of Ust-Yudoma village. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*. 2025;(2):81–93 (in Russian) DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-81-93

Введение

Природные ландшафты являются целостными биокосными образованиями со сложной внутренней организацией и пространственной дифференциацией, обладающие определенным сочетанием изменчивости и устойчивости [1]. Основным фактором, который приводит к трансформации ландшафтов, является антропогенный. Антропогенное влияние – конкретная деятельность человека, которая обуславливает изменения в структуре и функционировании природных геосистем. Согласно, В.А. Низовцеву [2] выделяется три категории антропогенно-измененных ландшафтов по степени воздействия и изменения ландшафтной структуры: антропогенные модификации природных ландшафтов, природно-антропогенные ландшафты и антропогенным ландшафтам. В отдельную концептуальную единицу антропогенных ландшафтов относят культурный ландшафт. Ландшафты заселенные человеком или населенных пунктов в типологической классификации выделяются как – селитебные. В книге Ф.Н. Милькова [3] дается полное описание понятия «селитебный ландшафт», который вошел в ландшафтную терминологию и начал свое развитие благодаря его работам. Селитебные ландшафты включают всю

антропогенную нагрузку на природные ландшафты в населенных пунктах и часто определяется в пределах участков, которые по категории землепользования относятся к населенными пунктам, согласно Земельному Кодексу. Селитебные ландшафты подразделяются на городские и сельские.

Влияние человека на ландшафты населенных пунктов чрезвычайно разнообразна и характеризуется пространственно-временной изменчивостью. Сокращение населения или же в целом уход населения запускает процессы самовосстановления природных ландшафтов или постантропогенного развития. Постантропогенное развитие ландшафтов с наиболее рефлексорными компонентами – растительным покровом и почвой. Для анализа трансформации ландшафтов используется антропогенная изменчивость растительных ассоциаций и физико-химических параметров почвы. Поврежденные насаждения теряют биологическую устойчивость и становятся ареной процессов, вызывающих смену биотических сообществ, иногда вплоть до полного исчезновения лесных экосистем на обширных территориях [4]. Под воздействием антропогенного фактора меняются уровни биотического сообщества, биологическое разнообразие таежных ландшафтов, качество компонентов ландшафта, межкомпонентные связи в геосистемах [5, 6, 7].

Одним из аспектов современной трансформации сельских населенных пунктов является сокращение и ликвидация малонаселенных поселений. В таких населенных пунктах идет процесс постантропогенного развития ландшафтов. Данный процесс характеризуется восстановлением природных ландшафтов в прежнее состояние, но при восстановлении, как ранее было сказано появляются новые изменения. К примеру, в Республике Башкортостан травяная растительность заброшенных населенных пунктов при восстановлении испытывает замедление процесса смены видов [8]. Что касается аэропортов и аэродромов, после забрасывания они представляют собой очень опасную местность в экологическом плане из-за разлива топлива из самолета происходит деградация и эрозия почв [9]. Для мерзлотных ландшафтов постантропогенная динамика ландшафтов, может замедлить или «купировать» криогенные процессы, за счет восстановления лесного покрова и замедления деградации многолетнемерзлых пород.

В статистической документации существует феномен сельских населенных пунктов «без населения» [10]. Согласно исследованиям А.А. Ткаченко [11], более половины населенных пунктов «без населения» приходится на Центральный экономический район, в целом, значительная часть заброшенных сел находится в европейской части РФ. В Республике Саха (Якутия) также много малонаселенных сельских поселений или сел «без населения», которые можно отнести к заброшенным. Присвоение такого статуса связано с включением поселения в состав другого или уход местного населения. По закону Республики Саха (Якутия) «Об установлении границ и о наделении статусом городского и сельского поселений муниципальных образований Республики Саха (Якутия): Закон Республики Саха (Якутия) от 30 ноября 2004 года 173-З № 353-III» в Якутии были исключены из учетных данных административно-территориального деления и присоединены в состав других множество сельских поселений без постоянного населения. В том числе, рассматриваемое в данном исследовании, село Усть-Юдома было включено в состав городского поселения Усть-Мая и имеет статус заброшенного. Нами в этом исследовании поставлена цель выявить особенности постантропогенной динамики и пространственной структуры селитебных ландшафтов в заброшенном селе Усть-Юдома. В основу работы заложены материалы, полученные в результате полевых маршрутных ландшафтных исследований в июне-июле 2024 года, данные дистанционного зондирования и анализ литературных источников.

Объект исследования

Село Усть-Юдома расположено в Усть-Майском районе на юго-востоке Республики Саха (Якутия) рядом с границей Хабаровского края вдоль правого берега р. Мая (рис.1). Населенный пункт занимает площадь 26 635 кв.м. и вытянут вдоль берега на 1600 метров. В селе находятся некоторые заброшенные здания 1940-1950-х годов постройки, а также жилые дома. За счет действующей метеорологической станции «Усть-Юдома» село не перестает существовать. На данный момент в селе постоянно живут только работники метеостанции и один дом

в качестве дачного участка. Ранее на территории села были аэропорт, магазин, аптека, пристань, но они перестали функционировать с момента оттока населения в районный центр.

Точной истории села нет, так как в 1950 году архив Усть-Майского района сгорел. И данная история собрана из интервью местной жительницы. В основу создания данного села лежат старательские работы в Усть-Майском районе. Село выступало как продовольственное место, старатели и оленеводы-эвенки закупались продуктами и предметами первой необходимости. К тому времени село процветало, появился аэропорт и пристань. На территории села были примерно 30 жилых домов включая магазин, аптеку, метеорологическую станцию. Также местное население, которое относилось к эвенкам, имело стадо оленей.



Рис. 1. Расположение села Усть-Юдома на территории Усть-Майского района

Fig. 1. Location of Ust-Yudoma village on the territory of Ust-Maysky District

Начиная с 1990-х годов население начало убывать и переезжать к районному центру, так как стали закрываться нерентабельные прииски в которых работали старатели, из-за этого спрос на продукты снизился. Также еще одной причиной убыли населения является отдаленность села и его окраинное положение. В результате село начало пустеть, закрылись аэропорт, магазин, аптека, пристань, ледник. Зброшенные дома действующая метеорологическая станция пустила на дрова, поэтому на данный момент почти 80 % села нет. От зданий сохранились исключительно несущие конструкции и основания. Жилые строения и здание аптеки находятся в хорошем техническом состоянии. Крупное холодильное сооружение, предназначавшееся для хранения продовольствия, характеризуется высокой степенью износа и представляет угрозу обвала. Старый причал, расположенный на реке Мая, подвергся разрушению вследствие воздействия течения реки.

Согласно Мерзлотно-ландшафтной карте Республики Саха (Якутия) [12] село Усть-Юдома расположена в среднетаежных лиственных кустарниковых и кустарничково-моховых лесах

с прерывистым залеганием многолетнемерзлых пород и интразональных среднетаежных долинных комплексах.

Методы и материалы

В июле 2024 года были проведены полевые работы на территории заброшенного села Усть-Юдома. Для полевых исследований ландшафтов используется метод комплексного физико-географического описания природно-территориальных комплексов по В.К. Жучковой и Э.М. Раковской [13]. Исследование состоит из трех основных этапов: 1) описание фаций; 2) выявление типологии ландшафтов на основе описанных фаций; 3) анализ типологий ландшафтов. В ходе полевых исследований было заложено 8 фаций в западной части села. Для описания фаций мы взяли территории размером 50 на 50 и 10 на 10 метров. Сперва определяли географическое положение точки и его мезорельеф, далее параллельно описывали почвенный разрез и растительность, в конце исходя из описанных данных составляли название фитоценоза и фации.

При описывании почвенного разреза копали яму размером 1 на 1 метр, до появления мерзлого грунта. В бланках указывали слои, глубину разреза, механический состав (песок, супесь, легкий суглинок, средний суглинок, тяжелый суглинок, глина), влажность (сухая, свежая, влажная, сырая, мокрая), цвет (по треугольнику С.А. Захарова), структуру (кубовидная, призмовидная, плитовидная, ореховатая, пластинчатая и т. д.), плотность (очень плотная, уплотненная, слабоуплотненная, рыхлая, пухлая) проверяется ножом, новообразования (химического происхождения, биологического происхождения), включения (каменистые, корни, кости, органические остатки, случайные включения антропогенного происхождения), переход между горизонтами (ровный, волнистый, карманный, языковатый, затечный, размытый, пыльный, палисадный), граница по степени выраженности (ясная, резкая, заметная, постепенная), каменистость если есть камни.

При описывании растительности начинали с определения ярусов, и продолжали по уменьшению высоты яруса. В составе древостоя описывали вид, количество деревьев, высоту (м), диаметр (см), среднее расстояние между деревьями, сомкнутость крон (от 0 до 10 баллов), состояние деревьев, формулу леса, бонитет. В составе кустарников и кустарничков записывали вид, высоту (м, см) и густоту (сплошной, редкий, прореженный). В состав травостоя входили вид, высота (см), фенофаза (проросток (ПР), вегетация (ВЕГ1, ВЕГ2), бутонизация (БУТ), цветение (ЦВ1, ЦВ2, ЦВ3), плодоношение (НЗП – незрелый плод, ЗП – зрелый плод), отрастание (ВЕГ3), отмершие (ОТМ)), проективное покрытие (%), обилие (фон – socialis (soc), обильно – copiosae (cop1, cop2, cop3), редко – sparsae (sp), очень редко – solitarie (sol), в ед. состоянии – unicum (un)).

Название фитоценоза включал только растительность, а в названии фации включены: рельеф, слагающие породы, увлажнение, почва, фитоценоз. В конце можно добавить примечания и замечания, а также дату описания и имя того, кто проводил описание.

В качестве дополнительного метода исследования территории было применено дешифрирование космических снимков с использованием модуля Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) в программной среде QGIS. Данный модуль обеспечивает комплексный анализ данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) посредством алгоритмов машинного обучения и автоматизированной классификации.

Модуль SCP обрабатывает снимки, полученных с различных космических аппаратов (Landsat, Sentinel, MODIS и др.), независимо от их пространственного и спектрального разрешения. Однако для повышения точности классификации и детализации результатов рекомендуется использовать современные спутниковые данные с высоким разрешением (менее 10 м/пиксель), которые обладают актуальной информацией.

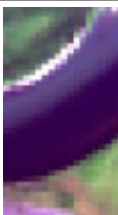
В ходе исследования применялся метод автоматизированного обучения, основанный на спектральном распознавании объектов по их цветовым характеристикам в различных каналах (RGB, NIR, SWIR). Алгоритм Random Forest осуществлял классификацию пикселей по заданным тренировочным полигонам, что позволило минимизировать субъективность визуального дешифрирования и повысить воспроизводимость результатов (табл. 1).

Таблица 1

Эталон дешифрирования основных типов ландшафтного покрова

Table 1

Detection patterns of the major land cover types

№	Название объекта	Изображение на снимке	Дешиф. признак	Примечания
1	Густой лес		Цвет: темно-зеленый.	В основном состоят из молодой сосны
2	Обычный лес		Цвет: зеленый, светло-зеленый.	Распространен по всей территории снимка
3	Пески		Цвет: белый.	Распространены на берегах рек
4	Каменистые россыпи		Цвет: пурпурный, фиолетовый.	При комбинации каналов 4-3-2 территории без растительности приобретают неестественный цвет
5	Луга (безлесные территории)		Цвет: бежевый, желтый.	В основном распространены на склонах возвышенностей
6	Водная поверхность		Цвет: синий, темно-синий.	Из-за того, что река Юдома имеет примеси она имеет другой цвет на космических снимках

Результаты и обсуждение

На основе описания 14 фаций и анализа данных дистанционного зондирования высокого разрешения с геосервисов Яндекс и Google была составлена ландшафтная карта села Усть-Юдома и окрестностей. Типологическая структура ландшафтов села Усть-Юдома состоит из 12 типов фаций. Территория села расположена на надпойменной террасе реки Мая, имеющей высоту порядка 7-8 метров относительно уровня поймы. Рельеф представлен полого-вогнутым плато, типичным для предгорий юго-запада Дальнего Востока России, и сформирован преимущественно мерзлотно-таёжными почвами, сложенными суглинистыми отложениями четвертичного периода. Растительный покров исследуемой территории отличается выраженной доминантностью хвойных лесов, среди которых наблюдается обилие сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Этот древесный вид демонстрирует высокую приспособленность к экстремальным климатическим условиям севера азиатской части России.

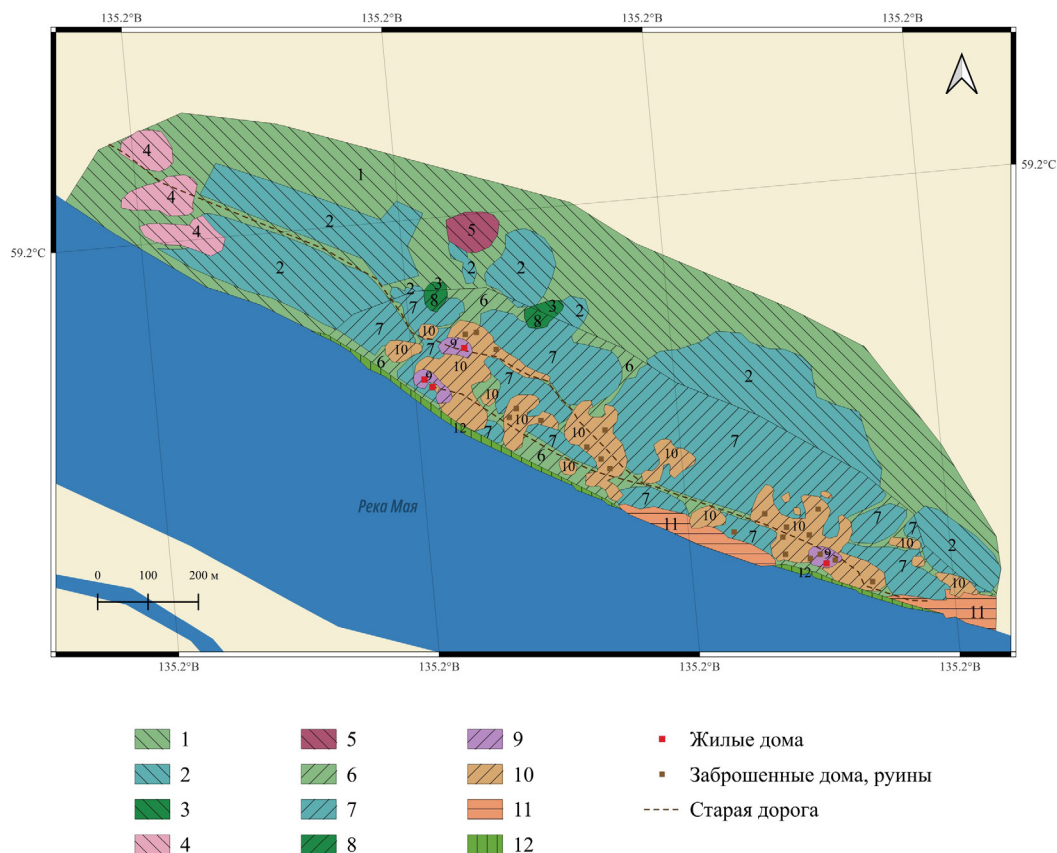


Рис. 2. Ландшафтная карта села Усть-Юдома.

Условные обозначения: 1 – Брусничный лиственнично-сосновый лес на мерзлотно-таежных суглинистых почвах; 2 – Брусничный сосновый лес с участием березы и ольховника на мерзлотно-таежных суглинистых почвах; 3 – Заросли ивы с лиственнично-березовым болотом; 4 – Багульниковый лиственнично-сосновый лес на мерзлотно-таежных суглинистых почвах; 5 – Лишайниковый лиственнично-сосновый лес с участием березы на месте старого кладбища; 6 – Надпойменная терраса с разнотравным брусничным сосновым лесом на мерзлотно-таежных суглинистых почвах; 7 – Надпойменная терраса с брусничным сосновым лесом на мерзлотно-таежных суглинистых почвах; 8 – Заросли ивы с сосново-березовым болотом; 9 – Современные антропогенные ландшафты; 10 – Заросли малины с участием иван-чайно-злаковых лугов и порослью сосны на мерзлотно-таежных суглинистых почвах; 11 – Высокая пойма с ивовыми зарослями на аллювиально-суглинистых почвах; 12 – низкая пойма с ивовыми зарослями с участками сосново-осиновых разнотравных лесов на аллювиальных суглинистых почвах

Fig. 2. Landscape map of Ust-Yudoma village.

Legend: 1 – Lingonberry larch-pine forest on permafrost-taiga loamy soils; 2 – Lingonberry pine forest with birch and alder on permafrost-taiga loamy soils; 3 – Willow thicket with larch-birch swamp; 4 – Ledum larch-pine forest on permafrost-taiga loamy soils; 5 – Lichen larch-pine forest with birch on the site of an old cemetery; 6 – Upland terrace with mixed herbaceous lingonberry-pine forest on permafrost-taiga loamy soils; 7 – Upland terrace with lingonberry pine forest on permafrost taiga loamy soils; 8 – Willow thickets with pine-birch swamp; 9 – Modern anthropogenic landscapes; 10 – Raspberry thickets with ivanchai-grass meadows and pine overgrowth on permafrost taiga loamy soils; 11 – High floodplain with willow thickets on alluvial loamy soils; 12 – Low floodplain with willow thickets with areas of pine-aspen herbaceous forests on alluvial loamy soils

Исследованная территория характеризуется ярко выраженными признаками антропогенного преобразования природных комплексов, вызванного длительным воздействием хозяйственной деятельности человека. Антропогенное воздействие привело к формированию своеобразной вторичной растительности, адаптированной к новым экологическим условиям. Процесс восстановления растительных сообществ проходит в условиях сильно нарушенных почвообразующих процессов и изменения микроклиматических характеристик. Во время естественного восстановления природы возникают особые виды растительности, бедные по составу и имеющие простую структуру сообществ. Это значит, что разнообразие видов уменьшается, а сами растения образуют менее сложные и разнообразные сообщества.



Рис. 3. А) сообщество с доминированием малины обыкновенной (*Rubus idaeus*); В) малинниково-шиповниковые заросли (*Rubo idaei-Rosetum*); С) сосново-малинниковые молодняки (*Pino sylvestris-Rubetum idaei*); D) иванчайно-злаковые луга (*Chamaenerietum angustifolii graminosum*)

Fig. 3. A) community dominated by common raspberry (*Rubus idaeus*); B) raspberry-briar thickets (*Rubo idaei-Rosetum*); C) pine-raspberry young stands (*Pino sylvestris-Rubetum idaei*); D) willow-grass meadows (*Chamaenerietum angustifolii graminosum*).

В результате проведенного комплексного исследования разработана карта с выделением генетических типов фаций. Все представленные типы ландшафтов (рис. 2) находятся на мерзлотно-таежных суглинистых почвах за исключением высокой и низкой поймы (номер на карте 11 и 12 (Рис.2)), которые сложены аллювиальными суглинистыми почвами. В основном они состоят из ивовых зарослей, которые занимают 80 % территории. Подстилающая поверхность территории села в основном состоит из брусники (*Vaccinium vitis idaea*), в северо-западной части наблюдается багульник (*Ledum*), который растет в перемешку с лиственнично-сосновым лесом (номер на карте 4 (рис. 2)).

Оранжевым цветом (номер на карте 10 (Рис.2)) выделены ландшафты изначально имевшие антропогенный характер, однако в настоящее время не используются для активного хозяйственного освоения человеком. Эти пространства представлены молодой порослью сосны, малинниково-шиповниковыми разнотравными сообществами и иванчайно-злаковыми лугами (рис. 3). Данные растительные сообщества возникли непосредственно на месте бывших строений и искусственных сооружений. После активной антропогенной нагрузки начинается возобновление природного покрова, сопровождающееся появлением вторичных растительных комплексов, которые показывают уровень адаптации местных видов к новым условиям.

Под номерами 2 и 7 выделены ландшафты, относящиеся к категории территорий, испытывающих умеренное антропогенное воздействие в прошлом. Предполагается, что указанные лесные массивы эксплуатировались в хозяйственных целях с целью заготовки древесины для нужд теплоснабжения населения, потому что при исследовании территории были замечены множество пней. Они характеризуются низкой степенью преобразованности природных комплексов и широким распространением молодым высокоплотным сосновым лесом (*Pinetum juvenilis densa*). Номер 2 существенно отличается от номера 7, расположенного на надпойменной террасе, составом древесных видов, входящих в структуру древостоя. Если номер 7 представлен преимущественно сосновым лесом, то на номере 2 встречаются участки с присутствием берёзы (*Betula*) и ольховника (*Duschekia*). Распространение березы в Якутии в основном связано с периодически возникающими лесными пожарами [14], но также стоит учитывать, что береза и ольховник растут в увлажненных местах. Значит территория под номером 2 имеет более увлажненную почву, чем территория номер 7, из-за этого наблюдается такое расхождение в составе древостоя. Также такое расхождение в составе древостоя наблюдается на территориях под номерами 3 и 8, где на надпойменной террасе наблюдается сосна, а на другой лиственница.

Для изучения пространственно-временной динамики природных ландшафтов села Усть-Юдома и его окрестностей было сделано дешифрирование растительного покрова. Источником исходных данных послужили архивные и современные спутниковые снимки серии Landsat 4-5, 8, 9 ТМ, полученные в летний период вегетационного сезона (июнь-август) за период с 1986 по 2024 гг., обеспечивающий временной охват около 40 лет. При выборе дат съёмки придерживались таким критериям как, отсутствие значительной облачности и дымности атмосферы, чтобы уменьшить погрешности и улучшить качество результата. Интервал между датами съёмки составил примерно 10 лет, что позволило выявить основные изменения ландшафтов (рис. 4).

Анализ полученных спутниковых изображений позволил выявить ряд важных особенностей в распределении различных типов ландшафтов на исследуемой территории. Согласно результатам дешифровки, характерная структура сельского поселения хорошо прослеживалась на снимках 1986–1996 годов. Однако начиная с 2014 года наблюдается значительное изменение структуры сельского пространства, выражающееся в постепенном исчезновении границ поселений на изображениях. Также проведённый сравнительный анализ показал рост безлесных участков, что особенно заметно на снимках 1996 и 2024 годов. Благодаря дешифрованию можно быстро выявлять изменения, поскольку они представлены в более обобщённом виде. Для более детального изучения конкретных объектов территорию можно выделить отдельные классы ландшафтного покрова для антропогенно-изменённых ландшафтов, чтобы определить их

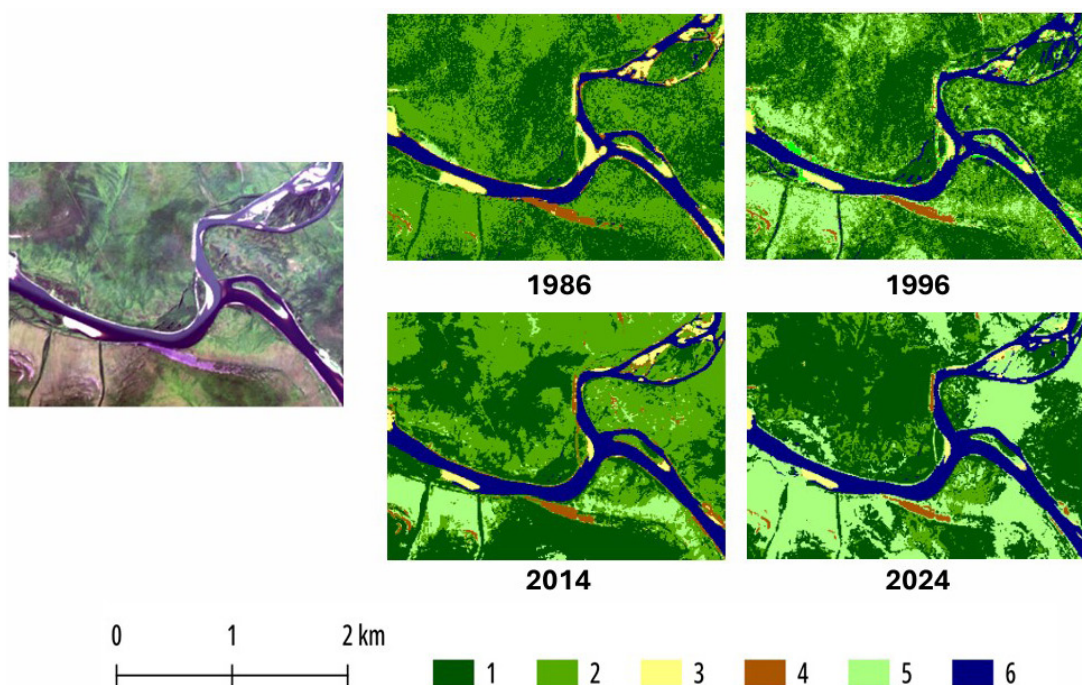


Рис. 4. Результаты дешифрирования ландшафтного покрова территории села Усть-Юдома.

Условные обозначения: (1) густой лес; (2) обычный лес; (3) пески; (4) каменистые россыпи; (5) луга; (6) водная поверхность.

Fig. 4. The results of land cover classification in the territory of Ust-Yudoma village.

Legend: (1) dense forest; (2) normal forest; (3) sands; (4) stony placers; (5) meadows; (6) water surface.

площадь и сравнить с другими снимками. Например, антропогенные ландшафты или село Усть-Юдома на старых снимках выделены светло-зеленым цветом. В дальнейшем рекомендуется использовать комбинацию различных методов анализа, таких как геоинформационные системы и полевые исследования, для уточнения характера изменений и их причин. Это позволит получить более полную картину динамики трансформации ландшафтов и принять обоснованные управленческие решения по их сохранению и развитию.

Закключение

В работе представлены результаты исследования ландшафтной структуры заброшенного села Усть-Юдома. Ландшафтная структура характеризует сукцессионные стадии динамики постантропогенного восстановления таежных ландшафтов на юго-восточной Якутии в условиях прерывистой криолитозоны. Анализируя характерные особенности ландшафтного покрова по данным дистанционного зондирования, описаний ландшафтных фаций, выявлены ключевые этапы естественного восстановления, а также влияние антропогенных факторов на процессы сукцессии.

Постантропогенная динамика ландшафтов служит одним из важных индикаторов для оценки состояния окружающей среды и реакции ландшафтов на различные сценарии развития, что особенно актуально в условиях изменений климата и интенсивного развития региона. Для рассматриваемой территории заброшенного села Усть-Юдома характерна антропогенная модификация природных ландшафтов, то есть антропогенное воздействие не привело к трансформации инварианта ландшафтной структуры. Поэтому при самовосстановлении ландшафтов сукцессионные стадии связаны с возвращением естественного зонального растительного покрова. Данная работа, вносит вклад в понимании динамики сельских селитебных ландшафтов,

что способствует формированию эффективных стратегий управления земельными ресурсами и устойчивого развития территорий, особенно в контексте восстановления постпромышленных и заброшенных территорий.

Литература

1. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах / В.Б. Сочава. – Новосибирск: Наука, 1978. – С. 317.
2. Низовцев В.А. К теории антропогенного ландшафтогенеза / В.А. Низовцев // *География и природные ресурсы*. – 2010. – № 2. – С. 5-10.
3. Мильков Ф.Н. Человек и ландшафты. Очерки антропогенного ландшафтоведения / Ф.Н. Мильков. – М.: Мысль, 1973. – 224 с.
4. Бессолицына Е.П. Динамические тенденции и устойчивость почвенно-биотических сообществ таежных геосистем к воздействию антропогенных факторов / Е.П. Бессолицына // *Материалы конференции, посвященной 105-летию со дня рождения академика В.Б.Сочавы*. – Иркутск, 2010. – С. 32-35.
5. Аксёнова Е.Г. Оценка результатов воздействия хозяйственной деятельности человека на ландшафт / Е.Г. Аксёнова, А.Г. Шевцова, Т.В. Матвиенко // *Экономика и экология территориальных образований*. – 2017. – № 1.
6. Биличенко И.Н., Красноштанова Н.Е. Влияние природно-антропогенных трансформаций таежных ландшафтов на социально-экологические системы верховьев рек Нижняя Тунгуска и Лена / И.Н. Биличенко, Н.Е. Красноштанова // *Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения*. – Воронеж, 2023. – С. 185-186.
7. Наговицына Е.И. Антропогенное воздействие на ландшафты Усольского района / Е.И. Наговицына // *Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения*. – Воронеж, 2023. – С. 266-268.
8. Ямалов С.М. Травяная растительность заброшенных населенных пунктов горно-лесной зоны Республики Башкортостан / С.М. Ямалов, Н.М. Сайфуллина, Б.М. Миркин. – Санкт-Петербург, 2008. – № 12. – С. 104-130.
9. Черкасова Н.Г., Новокрещенных А.Е. Экологические проблемы зоны заброшенных аэропортов и аэродромов / Н.Г. Черкасова, А.Е. Новокрещенных // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. – 2021. – С. 712-714.
10. Румянцев И.Н. Сельские населенные пункты «без населения» как географический и статистический феномен / И.Н. Румянцев, А.А. Смирнова, А.А. Ткаченко // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. – 2019. – № 1.
11. Ткаченко А.А. О реальном и номинальном количестве сельских населенных пунктов в современной России и ее регионах / А.А. Ткаченко // *Известия Русского географического общества*. – 2018. – Т. 150, № 2. – С. 15-24.
12. Жучкова В.К., Раковская Э.М. Методы комплексных физико-географических исследований: учебное пособие для студентов вузов / В.К. Жучкова, Э.М. Раковская. – М.: Академия, 2004. – 368 с.
13. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1:1 500 000 / А.Н. Федоров, Я.И. Торговкин, А.А. Шестакова и др.; гл. ред. М.Н. Железняк. – Якутск: ИМЗ СО РАН, 2018. – 2 л.
14. Аверенский А.И. Энтомокомплексы березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в лесах Якутии / А.И. Аверенский // *Евразийский Союз Ученых*. – Якутск, 2015.

References

1. Sochava V.B. Introduction to the study of geosystems. Novosibirsk: Nauka; 1978:317 (in Russian).
2. Nizovtsev V.A. On the theory of anthropogenic landscape genesis. *Geography and Natural Resources*. 2010; 2:5–10 (in Russian).
3. Milkov F.N. *Man and landscapes. Essays on anthropogenic landscape science*. Moscow: Mysl; 1973:224 (in Russian).
4. Bessolitsyna E.P. Dynamic trends and stability of taiga geosystems' soil-biotic communities to anthropogenic factors impact. In: *Proceedings of the conference dedicated to the 105th anniversary of academician V.B. Sochava*. Irkutsk; 2010:32–35 (in Russian).

5. Axenova E.G. Assessment of Human Economic Activity Impact on Landscape. *Economy and Ecology of Territorial Entities*. 2017; 1 (in Russian).
6. Bilichenko I.N., Krasnoshtanova N.E. Influence of natural-anthropogenic transformations of taiga landscapes on socio-ecological systems of the Upper Lena and Lower Tunguska rivers. *Theoretical and applied problems of landscape geography. VII Milkov Readings*. Voronezh; 2023:185–186 (in Russian).
7. Nagovitsyna E.I. Anthropogenic impact on landscapes of the Usolsky District. *Theoretical and applied problems of landscape geography. VII Milkov Readings*. Voronezh; 2023:266–268 (in Russian).
8. Yamalov S.M. Grass vegetation of abandoned settlements in mountain-forest zone of the Republic of Bashkortostan. Saint Petersburg. 2008; 12:104–130 (in Russian).
9. Cherkasova N.G., Novokreshchennykh A.E. Environmental problems of abandoned airports and airfields zones. *Current problems of aviation and cosmonautics*. 2021:712–714 (in Russian).
10. Rumyantsev I.N. Rural settlements “without population” as a geographical and statistical phenomenon. *Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography*. 2019; 1 (in Russian).
11. Tkachenko A.A. On the real and nominal number of rural settlements in modern Russia and its regions. In: *Proceedings of the Russian Geographical Society*. 2018; 2(Vol):15–24 (in Russian).
12. Zhuchkova V.K., Rakovskaya E. M. Methods of complex physical-geographical research: textbook for university students. Moscow: Academia; 2004:368 (in Russian).
13. Fedorov A.N., Torgovkin Ya.I., Shestakova A.A., et al. Permafrost-Landscape Map of the Sakha Republic (Yakutia). Scale 1:1,500,000, Ed. by M.N. Zheleznyak. Yakutsk: Permafrost Institute SB RAS, 2018. 2 sheets (in Russian).
14. Averensky A.I. Entomocomplexes of the European White Birch (*Betula pendula* Roth.) in Forests of Yakutia. *Eurasian Union of Scientists*. Yakutsk; 2015 (in Russian).

Об авторах

ЗАХАРОВ Моисей Иванович – к.г.н., доцент эколого-географического отделения ИЕН, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», г. Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-8916-2166, ResearcherID: ABB-7787-2021, Scopus Author ID: 57218225160, SPIN: 5706-0517

E-mail: mi.zakharov@s-vfu.ru

ФЕДОРОВА Сахая Васильевна – студент IV курса ИЕН, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», г. Якутск, Российская Федерация

E-mail: sakhaya946@gmail.com

About the authors

Moisei I. ZAKHAROV – Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation, ORCID:0000-0002-8916-2166, ResearcherID: ABB-7787-2021, Scopus Author ID: 57218225160, SPIN: 5706-0517

E-mail: mi.zakharov@s-vfu.ru

Sakhaya V. FEDOROVA – 4-th year student, Institute of Natural Sciences, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

E-mail: sakhaya946@gmail.com

Вклад авторов

Захаров М. И. – разработка концепции, верификация данных, редактирование рукописи, руководство исследованием

Федорова С. В. – создание черновика рукописи, визуализация, проведение статистического анализа, проведение исследования

Authors' contribution

Moisei I. Zakharov – conceptualization, writing – review & editing, validation, supervision

Sakhaya V. Fedorova – writing – original draft, development of maps, formal analysis, visualization, investigation

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests

Поступила в редакцию / Submitted 07.05.25

Принята к публикации / Accepted 21.05.25

**Вестник Северо-Восточного федерального университета
им. М.К. Аммосова.
Vestnik of North – Eastern Federal University.
Серия "Науки о Земле. Earth Sciences"**

Сетевое научное периодическое издание

№ 2(38) 2025

Технический редактор *А.Н. Егорова*
Компьютерная верстка *Л.М. Винокурова*
Оформление обложки *П.И. Антипин*

Подписано в печать 09.06.2025. Формат 70х108/16.
Дата выхода в свет 09.06.25.