

## ЭЛЕКТРОННАЯ СЕРИЯ «НАУКИ О ЗЕМЛЕ»

научного рецензируемого журнала

«ВЕСТНИК СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

имени М.К. АММОСОВА»

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»

№ 4 (36) 2024

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Главный редактор

*А.Н. Николаев*, д. б. н.

Заместитель главного редактора, редактор серии «Науки о Земле»

*Е.Э. Соловьев*, к. г. - м. н., доцент.

Выпускающий редактор

*Я.П. Шепелева*, к. г. - м. 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: 677000, г. Якутск, ул. Петровского, 5, каб.1

Тел./факс: (4112) 40-38-75. e-mail: [vestnik\\_geo@mail.ru](mailto: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» SERIES

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”

№ 4 (36) 2024

EDITORIAL BOARD OF THE SERIES

Editor-in-Chief

*A.N. Nikovaev*, Doctor of Biological Sciences

Deputy Editor-in-Chief, Editor of the Series:

*E.E. Solovyov*, Candidate of Geological-mineralogical sciences, Associate Professor

Commissioning Editor

*Ia. P. Shepeleva*, Candidate of Geological-mineralogical sciences Sciences

Members of the Editorial Board of the Series:

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

Founder and publisher address: the North-Eastern Federal University, 677000, Yakutsk, ul. Belinskogo, 58.

Editors Office address: the North-Eastern Federal University, 677000, Yakutsk, ul. Petrovskogo, 5, room 1

Telephone/Fax: (4112) 40-38-75. e-mail: [vestnik\\_geo@mail.ru](mailto: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

<i>Егоров И.А., Татаринев Д.М., Набережный А.Д., Находкин А.А.</i> Применение бурового расширителя для забора дополнительного объема проб с пробуренной скважины при разведке россыпных месторождений криолитозоны .....	5
<i>Иванов А.И., Лоскутов Е.Е., Журавлев А.И., Иванов М.С., <u>Кравченко А.А.</u></i> Петрографический и петро-геохимический составы мезозойских (?) магматических пород Половинкинской впадины (Алдано-Становой щит).....	11
<i>Погодаев А.В., Севостьянова Р.Ф., Слепцова М.И., Жарков А.М., Павлова К.А.</i> Перспективы нефтегазоносных территорий восточного обрамления Сибирской платформы по материалам геологоразведочных работ последних лет .....	33
<i>Сивцев А.И., Калинин А.И., Сивцев Н.А.</i> Среднепалеозойские отложения северо-востока Сибирской платформы: особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности.....	49
<i>Татаринев Д.М., Егоров И.А., Третьяков Т.М.</i> Трудности эксплуатации самоходной буровой установки при бурении геологоразведочных скважин в условиях Крайнего Севера .....	63
<i>Третьякова О.Г., Сычевский А.В., Попов В.Ф., Козлова И.В., Третьякова Н.М.</i> Аксиологические основания создания горно-геологического музея Республики Саха (Якутия) .....	72

### ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

<i>Волох Е.Д., Алексеенко Н.А., Медведев А.А.</i> Исследования возможностей обнаружения залежей газогидратов мировым сообществом в XX-XXI вв. ....	83
<i>Герасимова Д.И., Захаров М.И., Голованов А.О.</i> Таежные ландшафты бассейна реки Мая.....	95
<i>Евсеева Н.С., Петров А.И., Хон А.В., Каширо М.А., Квасникова З.Н.</i> Водная эрозия почв от стока талых снеговых вод в агроландшафтах юго-востока Томской области .....	104
<i>Тесленок С.А., Фролов А.С.</i> Особенности создания карты зеленых насаждений города Ханты-Мансийска в среде ГИС NextGIS.....	120
<i>Шагалиев Р.Д., Богдан Е.А., Галямов А.Ф., Белан Л.Н., Ишкинина О.И., Валиев Г.Г.</i> Идентификация сухостойных деревьев с помощью искусственного интеллекта на основе данных дистанционного зондирования Земли .....	138

---

---

## CONTENT

---

### GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS, MINERALOGY

- Egorov I.A., Tatarinov D.M., Naberezhny A.D., Nakhodkin A.A.* The use of a drilling expander for taking additional samples from a drilled well during the exploration of placer deposits of the cryolithozone ..... 5
- Ivanov A.I., Loskutov E.E., Zhuravlev A.I., Ivanov M.S., Kravchenko A.A.* Petrographic and petro-geochemical compositions of Mesozoic (?) igneous rocks of the Polovinkinskaya depression (Aldan-Stanovoy shield) ..... 11
- Pogodaev A.V., Sevostianova R.F., Sleptsova M.I., Zharkov A.M., Pavlova K.A.* Oil and gas perspective of the eastern border of the Siberian Platform based on recent exploration data ..... 33
- Sivtsev A.I., Kalinin A.I., Sivtsev N.A.* Middle Paleozoic deposits of the northeastern Siberian platform: features of the geological structure and prospects of oil and gas content..... 49
- Tatarinov D.M., Egorov I.A., Tretyakov T.M.* Difficulties in operating a self-propelled drilling rig when drilling geological exploration wells in the Far North conditions ..... 63
- Tretyakova O.G., Sychevsky A.V., Popov V.F., Kozlova I.V., Tretyakova N.M.* Axiological grounds for the construction of the mining and geological museum of the Sakha Republic (Yakutia) ..... 72

### PHYSICAL GEOGRAPHY AND BIOGEOGRAPHY, SOIL GEOGRAPHY, AND LANDSCAPE GEOCHEMISTRY

- Volokh E.D., Alekseenko N.A., Medvedev A.A.* The research on the possibilities of detecting gas hydrates by the world community in the 20<sup>th</sup> – 21<sup>st</sup> centuries..... 83
- Gerasimova D.I., Zakharov M.I., Golovanov A.O.* Taiga landscapes of the Maya River basin ..... 95
- Evseeva N.S., Petrov A.I., Hon A.V., Kashiro M.A., Kvasnikova Z.N.* Water erosion of soils from runoff of melt snow water in agrolandscapes of southeast Tomsk Oblast..... 104
- Teslenok S.A., Frolov A.S.* Peculiarities creation of a map of green areas of the city of Khanty-Mansiysk in the NextGIS environment ..... 120
- Shagaliev R.D., Bogdan E.A., Galyamov A.F., Belan L.N., Ishkinina O.I., Valiev G.G.* Identification of dead trees using artificial intelligence based on Earth remote sensing data ..... 149

# ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 550.8+622.6

DOI 10.25587/2587-8751-2024-4-5-10

*И.А. Егоров<sup>1</sup>✉, Д.М. Татаринов<sup>1</sup>, А.Д. Набережный<sup>2</sup>, А.А. Находкин<sup>2</sup>*<sup>1</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия<sup>2</sup> Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия

✉ igor.titr@gmail.com

## ПРИМЕНЕНИЕ БУРОВОГО РАСШИРИТЕЛЯ ДЛЯ ЗАБОРА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБЪЕМА ПРОБ С ПРОБУРЕННОЙ СКВАЖИНЫ ПРИ РАЗВЕДКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ

**Аннотация.** В данной статье мы предлагаем способ замены шурфов при разведке россыпных месторождений криолитозоны. Идея заключается в отборе дополнительного объема проб с заранее пробуренной разведочной скважины путем расширения ее ствола в заданном интервале с помощью специально спроектированного и запатентованного нами устройства для локального расширения участка ствола скважины (Патент на изобретение № 2792482 от 15 ноября 2022 г.). Таким образом, с помощью применения бурового расширителя возможно получить дополнительный объем проб со скважины, при этом расширение скважины происходит локально, на интервале залегания золотоносных пластов. Если диаметр расширения скважины составляет 1300 мм и более, то использование расширителя позволит извлечь из заданного интервала скважины такой же объем проб, который получают при проходке шурфов. Данный метод позволит заменить шурфопроходческие работы при разведке россыпных месторождений криолитозоны, которые отличаются высокой долей ручного труда и требуют значительных финансовых средств и временных затрат.

**Ключевые слова:** россыпные месторождения, разведочные шурфы, геологоразведочные работы, бурение скважин большого диаметра, многолетняя мерзлота, криолитозона, буровое оборудование, техника и технология разведки месторождений, разведка россыпного золота

**Для цитирования:** Егоров И.А., Татаринов Д.М., Набережный А.Д., Находкин А.А. Применение бурового расширителя для забора дополнительного объема проб с пробуренной скважины при разведке россыпных месторождений криолитозоны. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 5–10. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-5-10

I.A. Egorov<sup>1</sup>, D.M. Tatarinov<sup>1</sup>, A.D. Naberezhny<sup>2</sup>, A.A. Nakhodkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.K. Ammosov North Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup> Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

\* igor.titr@gmail.com

## THE USE OF A DRILLING EXPANDER FOR TAKING ADDITIONAL SAMPLES FROM A DRILLED WELL DURING THE EXPLORATION OF PLACER DEPOSITS OF THE CRYOLITHOZONE

**Abstract.** In this article, we propose a way to replace test pits in the exploration of placer deposits of the cryolithozone. The idea is to take an additional volume of samples from a pre-drilled exploration well by expanding its trunk in a given interval using a specially designed and patented device for local expansion of the borehole section (Patent for Invention No. 2792482 dated November 15, 2022). Thus, by using a drilling expander, it is possible to obtain an additional volume of samples from the well, while the well expansion is performed only in a certain area of the well. If the diameter of the well expansion is 1300 mm or more, then using an expander will allow extracting from a given well interval the same volume of samples that is obtained during the construction of a test pit. This method will make it possible to replace construction of a test pit in the exploration of placer deposits of the cryolithozone, which are characterized by a high proportion of manual labor and require significant financial resources and time.

**Keywords:** drilling of wells, exploration pits, placer deposits, test pit, geological exploration, drilling of large diameter wells, permafrost, cryolithozone, drilling equipment, equipment and technology of exploration of deposits, exploration of placer gold

**For citation:** Egorov I.A., Tatarinov D.M., Naberezhny A.D., Nakhodkin A.A. The use of a drilling expander for taking additional samples from a drilled well during the exploration of placer deposits of the cryolithozone. *Vestnik of NEFU. Earth Sciences*. 2024, № . 4. Pp. 5–10. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-5-10

### Введение

Значительная часть добычи россыпного золота, алмазов, олова и платины в Российской Федерации приходится на Дальневосточный и Восточно-Сибирский регионы, при этом большинство месторождений находятся в зонах распространения многолетнемерзлых пород. Для определения границ, мощности и запасов золотоносных пластов россыпных месторождений проводятся геологоразведочные работы, которые включают бурение скважин и проходку шурфов. Разведка россыпей криолитозоны буровым и шурфопроходческим способами в основном проводится в зимнее время, и отличается высокой сложностью, так как влагонасыщенные дисперсные грунты этих месторождений, с включениями валунно-галечных отложений, в мерзлом состоянии могут выдерживать значительные нагрузки и трудно поддаются проходке. В связи с этим совершенствование и повышение производительности техники и технологии разведки россыпных месторождений зоны многолетней мерзлоты является актуальной задачей, так как от качества, достоверности и производительности геологоразведочных работ зависит точность подсчета запасов месторождений, а также эффективность и объем добычи полезных ископаемых.

### Постановка проблемы

Основным способом разведки россыпных месторождений является буровой способ. В основном бурение производится станками ударно-канатного бурения (УКБ) диаметрами 6 или 8 дюймов (150 и 200 мм соответственно). Качество и достоверность разведки россыпей ударно-канатным способом зависят от мастерства машиниста буровой установки, промывальщика на станке и геолога на участке [1]. При недостаточной компетенции буровой бригады и несоблюдении технологии проведения работ при УКБ результаты опробования могут быть недостоверными, в основном из-за некачественного желонирования, в следствие которого про-

исходит миграция тяжелых фракций с полезными ископаемыми с верхних интервалов скважины в нижние, что приводит к опусканию верхней границы золотоносного пласта и растягиванию пласта по мощности [1]. Поэтому для подтверждения данных буровой разведки, россыпи дополнительно исследуют с помощью шурфов. Шурфы в отличие от скважин имеют большую площадь сечения в среднем от 1,25-1,5 м<sup>2</sup> реже 3,2-4 м<sup>2</sup> и позволяют получить достоверную информацию при опробовании. Глубина шурфов зависит от глубины залегания песков с полезными ископаемыми и достигает в среднем 10-15 м. Основным способом проходки шурфов в многолетнемерзлых породах является буровзрывной: с механическим бурением шпуров и подъемом породы, а также с ручным бурением шпуров и подъемом породы ручным воротком [2]. Проходка шурфов в многолетнемерзлых грунтах представляет собой сложный и трудоемкий процесс, который требует значительных затрат финансовых средств и времени, а также отличается высокой долей ручного труда. Как показывает современная практика, техника и технология проходки шурфов со времен СССР не претерпела значительных улучшений и нуждается в совершенствовании.

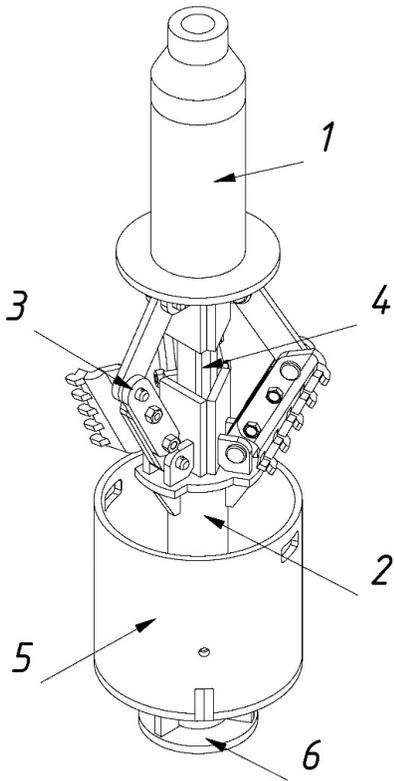
### **Способ отбора дополнительного объема геологических проб с золотоносного пласта с ранее пройденной буровой скважины**

Одним из способов совершенствования техники и технологии проходки шурфов является механизация работ, при котором шурфы проходят с помощью буровых снарядов большого диаметра (от 1300 мм и более), которые могут пробурить скважину с площадью сечения, соответствующей площади сечения шурфов (от 1,25-1,5 м<sup>2</sup>). Существуют различные способы и средства бурения скважин большого диаметра, такие как колонковый, шнековый, ковшебуровой и другие, но на практике разведки россыпных месторождений они не получили широкого распространения, в основном из-за низкой эффективности при бурении по мерзлым валунно-галечным отложениям россыпных месторождений криолитозоны, а также из-за сложности их конструкций. В данной статье мы предлагаем способ отбора дополнительного объема проб с заданного интервала с заранее пробуренной скважины с помощью специально спроектированного и запатентованного нами устройства для локального расширения участка ствола скважины (Патент на изобретение № 2792482 от 15 ноября 2022 г.), далее расширитель или устройство. Конструкция и принцип работы устройства схематически проиллюстрированы на рисунках 1 и 2.

Предлагаемый способ отбора дополнительного объема проб с заданного интервала с заранее пробуренной скважины заключается в следующем:

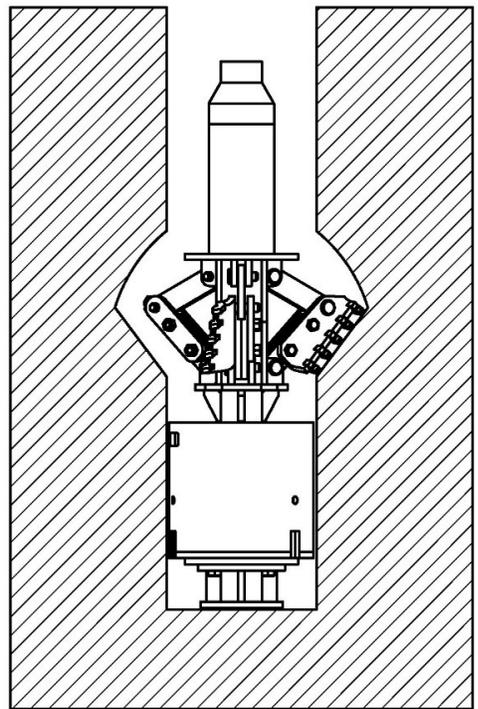
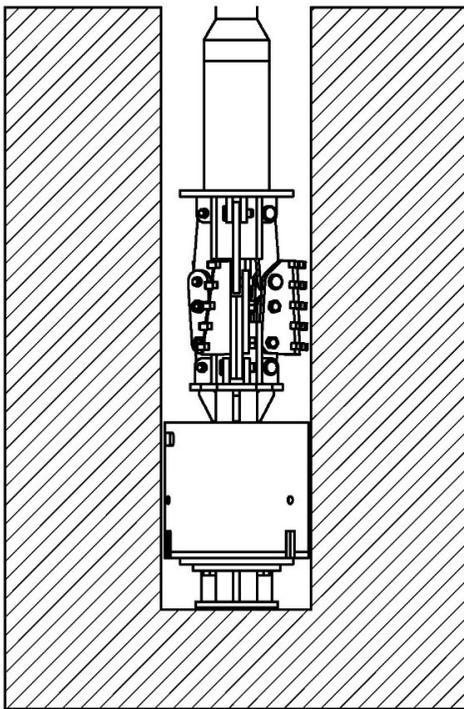
Буровой снаряд, состоящий из расширителя и бурильных труб, спускают с помощью буровой установки в предварительно пробуренную скважину до достижения ее забоя. Во время спуска выдвижные ножи 3 под весом нижней опоры 2, грунтоборника 5 и опорного диска 6 находятся в вытянутом положении и не препятствуют выполнению спуско-подъемных операций.

По окончании спуска, расширитель опорным диском 6 упирается о забой скважины, при этом движение нижней опоры 2 по вертикальной оси блокируется, а корпус 1 имеет возможность перемещения вдоль оси ведущей трубы 4. Далее, при подаче осевой нагрузки на расширитель корпус 1 опускается по вертикальной оси в сторону нижней опоры 2, одновременно с этим, шарнирно соединенные с корпусом 1 и нижней опорой 2 ножи 3 выдвигаются в сторону стенок скважины и переходят в рабочее (сложенное) положение. После чего, при одновременной подаче вращательного движения и осевой нагрузки на расширитель выдвижные ножи 3 разрушают стенки скважины, локально расширяя ее, при этом разрушенная горная порода попадает в грунтоборник 5. В процессе расширения скважины грунтоборник 5 выполняет также функцию центратора и за счет свободной посадки на диск 6 может не вращаться от трения со стенкой скважины. Для контроля за ходом расширения участка ствола скважины на мачте буровой установки устанавливают рейку с разметкой, равной величине хода цилиндрического корпуса 1 расширителя. По окончании процесса расширения скважины расширитель



**Рис. 1.** Общий вид устройства для локального расширения участка ствола скважины. 1) Цилиндрический корпус; 2) Нижняя опора; 3) Выдвижные ножи; 4) Ведущая труба; 5) Грунтосборник; 6) Опорный диск

**Figure 1.** General view of the device for local expansion of the borehole section. 1) Cylindrical body; 2) Lower support; 3) Retractable knives; 4) Guide pipe; 5) Soil collector; 6) Support disc



**Рис. 2.** Принцип работы устройства. На рисунке слева изображена скважина до расширения, на рисунке справа – после расширения

**Figure 2.** The principle of operation of the device. The figure on the left shows the well before expansion, and the figure on the right shows it after expansion

поднимается с помощью буровой установки на дневную поверхность, при этом, под весом нижней опоры 2, заполненной шламом грунтоборника 5, и опорного диска 6 выдвижные ножи 3 обратно переходят в вытянутое положение и позволяют расширителю свободно подниматься вверх по стволу скважины.

На дневной поверхности грунтоборник 5 очищается от разрушенной породы. При этом, в зависимости от величины расширения и объема грунтоборника, циклов спуско-подъемных операций при расширении скважины может быть несколько. Контролируя глубину проходки выработки, например с помощью рейки с разметками, можно точно определить с какого интервала была получена проба.

#### **Обсуждение**

Таким образом, с помощью применения бурового расширителя возможно получить дополнительный объем проб со скважины, при этом расширение скважины происходит только на золотоносном пласте. Если диаметр расширения скважины составляет 1300 мм и более, то использование расширителя позволит извлечь из заданного интервала скважины такой же объем проб, который получают при проходке шурфов, но при этом, затраты времени и средств на проходку горной выработки резко снижаются. Также следует отметить, что данный метод позволит полностью механизировать шурфопроходческие работы.

Для проверки работоспособности данной техники и технологии разведки россыпей требуется проведение полевых испытаний. На данный момент проект находится на стадии создания прототипа. После создания прототипа планируется проведение натурных испытаний.

#### **Заключение**

В заключение можно сказать, что предложенный метод опробования золотоносных пластов с помощью локального расширения скважины представляет собой перспективную технологию, которая может существенно повысить эффективность и производительность геологоразведочных работ.

Преимущества этого метода включают:

- Снижение требований к мощности буровой установки;
- Возможность замены шурфопроходческих работ;
- Повышение производительности бурения;
- Сохранение достоверности опробования при диаметре расширения от 1300 мм, сопоставимой с шурфами.

Таким образом, внедрение этой технологии в производство может привести к значительному прогрессу в области разведки россыпных месторождений и оптимизации процессов бурения и проходки шурфов.

#### **Литература**

1. Беляев, А.Е. Особенности разведки россыпных месторождений золота скважинами ударно-канатного бурения / А.Е. Беляев. – Текст : непосредственный // Золотодобыча. – 2015. – № 197, Апрель. <https://zolotodb.ru/article/11241>.
2. Шерстов, В.А. Проведение горных выработок при разведке россыпных месторождений криолитозоны : учебное пособие / В.А. Шерстов, Г.И. Попов. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2013. – 158 с. – Текст : непосредственный.
3. Рогинский, В.М. Проведение горно-разведочных выработок : учебник для вузов. – Москва : Недра, 1987. – 296 с. – Текст : непосредственный.

#### **References**

1. Belyaev AE. Features of exploration of placer gold deposits by shock-rope drilling wells. Gold mining. 2015;197. Available from: <https://zolotodb.ru/article/11241>.

2. Sherstov VA, Popov GI. Conducting mining operations in the exploration of placer deposits of the cryolithozonebook. Yakutsk : NEFU Publishing House; 2013: 158.
3. Roginsky VM. Conducting mining and exploration workings. Moscow: Nedra; 1987: 262.

#### Сведения об авторах

*ЕГОРОВ Игорь Антонович* – ст. преп. каф. недропользование ГРФ, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: igor.titr@gmail.com

*EGOROV Igor A.* – Senior Lecturer of the Department of Subsoil Use, Geological Exploration Faculty, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*ТАТАРИНОВ Дмитрий Михайлович* – ст. преп. каф. недропользование ГРФ, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: dm.tatarinov@s-vfu.ru

*TATARINOV Dmitry M.* – Senior Lecturer of the Department of Subsoil Use, Geological Exploration Faculty, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*НАБЕРЕЖНЫЙ Артём Дмитриевич* – к.т.н., зав. лаб. инженерной-геокриологии, Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН. E-mail: naberezhnyad@mpi.ysn.ru

*NABEREZHNY Artem D.* – Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Engineering Geocryology, Melnikov Permafrost Institute SB RAS

*НАХОДКИН Афанасий Афанасьевич* – вед. инженер лаб. инженерной-геокриологии, Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН. E-mail: afanasiynakhodkin94@mail.ru

*NAKHODKIN Afanasy A.* – Leading engineer of the Laboratory of Engineering Geocryology, Melnikov Permafrost Institute SB RAS

А.И. Иванов ✉, Е.Е. Лоскутов, А.И. Журавлев, М.С. Иванов,

А.А. Кравченко

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Россия

✉ aiivanov@diamond.ysn.ru

## ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ И ПЕТРО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВЫ МЕЗОЗОЙСКИХ (?) МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД ПОЛОВИНКИНСКОЙ ВПАДИНЫ (АЛДАНО-СТАНОВОЙ ШИТ)

**Аннотация.** Рассмотрены особенности петрографического и геохимического составов мезозойских магматических пород Половинкинской впадины из скважин К1, К2, К3, расположенной в пределах центральной части Алдано-Станового щита, на границе Тындинского и Нимнырского террейнов в пределах Амгинской зоны тектонического меланжа. По взаимоотношению пород, а также по особенностям петрографического состава предполагается следующая последовательность внедрения и образования: 1) габбро; 2) роговообманково-авгитовые андезиты, что подтверждается значениями и вариациями петрохимического состава. По петрохимическим и геохимическим характеристикам габбро близки толеитовой серии. Андезиты относятся к известково-щелочной петрохимической серии, латитам шошонитового типа. Присутствие таких пород как габбро и андезиты, характерно для зрелых островных дуг и активных континентальных окраин, что не противоречит имеющимся представлениям предшественников. Схожими по геологическому строению объектами, являются продуктивные на золото габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные (ГТГГ) массивы Урала, представляющие собой надсубдукционные образования на активной континентальной окраине андийского типа. Наличие пород ГТГГ формации в пределах Половинкинской впадины служит благоприятным фактором благородно-металлических рудогенерирующих процессов.

**Ключевые слова:** Алдано-Становой щит, Половинкинская впадина, габбро, роговообманково-авгитовые андезиты, петрохимия, геохимия, толеиты, шошониты, мантийный источник, континентальная кора, вулканические дуги.

**Для цитирования:** Иванов А.И., Лоскутов Е.Е., Журавлев А.И., Иванов М.С., Кравченко А.А. Петрографический и петро-геохимический составы мезозойских (?) магматических пород Половинкинской впадины (Алдано-Становой щит). *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 11–32. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-11-32

*Работа выполнена в рамках Государственного задания НИР ИГАБМ СО РАН.*

А.И. Иванов ✉, Е.Е. Loskutov, A.I. Zhuravlev, M.S. Ivanov,

А.А. Kravchenko

Diamond and precious metal geology institute SB RAS, Yakutsk, Russia

✉ aiivanov@diamond.ysn.ru

## PETROGRAPHIC AND PETRO-GEOCHEMICAL COMPOSITIONS OF MESOZOIC (?) IGNEOUS ROCKS OF THE POLOVINKINSKAYA DEPRESSION (ALDAN-STANOVVOY SHIELD)

**Abstract.** The article considers the features of the petrographic and geochemical compositions of the Mesozoic igneous rocks of the Polovinkinskaya depression from earth bores K1, K2, K3, located within the central part of the Aldan-Stanovoy shield, on the boundary of the Tynda and Nimnyr terranes within the Amginskaya zone of tectonic mélangé. Based on the relationship of rocks, as well as on the features of the petrographic composition, the following sequence of introduction and formation is assumed: 1) gabbro; 2) hornblende-augite andesites. This is confirmed by the values and variations of the petrochemical composition. According to the petrochemical and geochemical characteristics, gabbros are close to the tholeiitic series. Andesites belong to the calc-alkaline

petrochemical series, latites of the shoshonite type. The presence of such rocks as gabbro and andesites is typical for mature island arcs and active continental margins, which does not contradict the existing ideas of predecessors. Similar in geological structure objects are gold-producing gabbro-tonalite-granodiorite-granite (GTGG) massifs of the Urals, which are supra-subduction formations on the active continental margin of the Andean type. The presence of rocks of the GTGG formation within the Polovinkinskaya depression serves as a favorable factor for noble-metal ore-generating processes.

**Keywords:** Aldan-Stanovoy shield, Polovinkinskaya depression, gabbro, hornblende-augite andesites, petrochemistry, geochemistry, tholeiites, shoshonites, mantle source, continental crust, volcanic arcs.

**For citation:** Ivanov A.I., Loskutov E.E., Zhuravlev A.I., Ivanov M.S., Kravchenko A.A. Petrographic and petro-geochemical compositions of Mesozoic (?) igneous rocks of the Polovinkinskaya depression (Aldan-Stanovoy shield). *Vestnik of NEFU. Earth Sciences*. 2024, № 4. Pp. 11–32. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-11-32

*This study was conducted within the framework of the State Research Assignment of the DPMGI SB RAS.*

## Введение

Исследуемый район расположен на территории Республики Саха (Якутия) и занимает площадь в центральной части Алдано-Станового щита (рис. 1) – на границе Тындинского и Нимнырского террейнов, которая представлена Амгинской зоной тектонического меланжа (рис. 2). Территория сложена докембрийскими метаморфическими комплексами и терригенно-осадочными породами платформенного чехла, заполняющими грабены (Токариканский, Половинкинский). В протерозое и мезозое здесь проявлены этапы тектоно-магматической активизации.

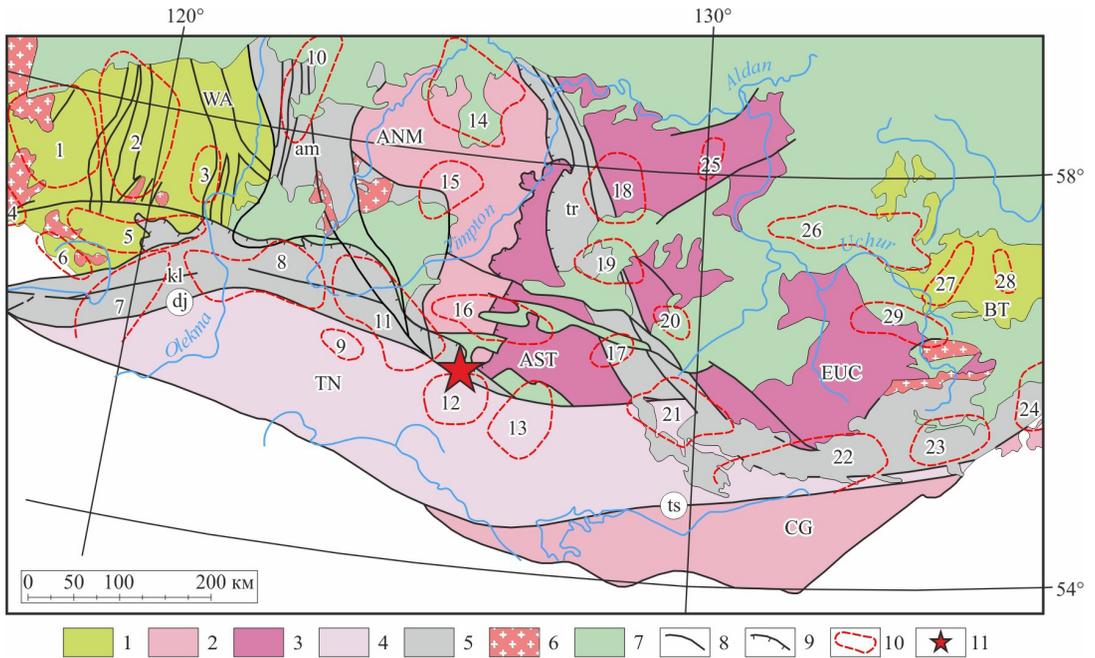
С мезозойским этапом активизации связаны многочисленные рудопроявления золота. В частности, в результате поисковых работ в конце 70-х гг. в Верхне-Тимптонском районе, в бассейне руч. Колбочи-Муравьевский-Скобельцинский, Дорожный-Орогоччу и Речной (Амарская, 1978 ф), установлена генетическая связь диоритов с жильным кварцем, последний по мнению авторов, является продуктом постмагматической деятельности конечного этапа становления мезозойских тел среднего и умеренно кислого состава.

В конце 1980-х гг. в Верхне-Тимптонском и Средне-Сутамском районах В.Г. Амарским и др. (1989), Б.П. Подъячевым и др. (1989) выполнены поисково-съёмочные работы, в результате чего была выделена золото-серебряная формация, связанная с гипабиссальным магматизмом мезозойского возраста.

Помимо мезозойских магматических образований кислого состава, телам габбро и покровам андезитов не уделялось должного внимания. В связи с чем, фундаментальными и актуальными задачами исследования являются установление петрологических параметров составов магматических пород в зависимости от условий их образования, выявление характера магмообразующего субстрата, определение геодинамического режима, существовавшего на период образования пород, и обнаружение пространственной связи с золотым оруденением, на наличие которого указывают единичные находки самородного и медистого золота в экзоконтактных частях габброидных тел.

## Геологическое строение района работ

В геологическом строении территории принимают участие стратифицированные образования широкого возрастного диапазона (рис. 2). В различном объеме представлены метаморфические докембрийские комплексы пород, слагающие складчатый фундамент, а также осадочные мезозойские и кайнозойские комплексы. Породы метаморфических комплексов претерпели неоднократный прогрессивный и регрессивный метаморфизм нескольких фаций: гранулитовой, амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой. В отдельный комплекс выделены породы регрессивного метаморфизма эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций, которые на площади работ образуют мощные зоны диафтореза. Вопросы возраста и генезиса диафторитов в настоящее время однозначно не решены и остаются дискуссионными.

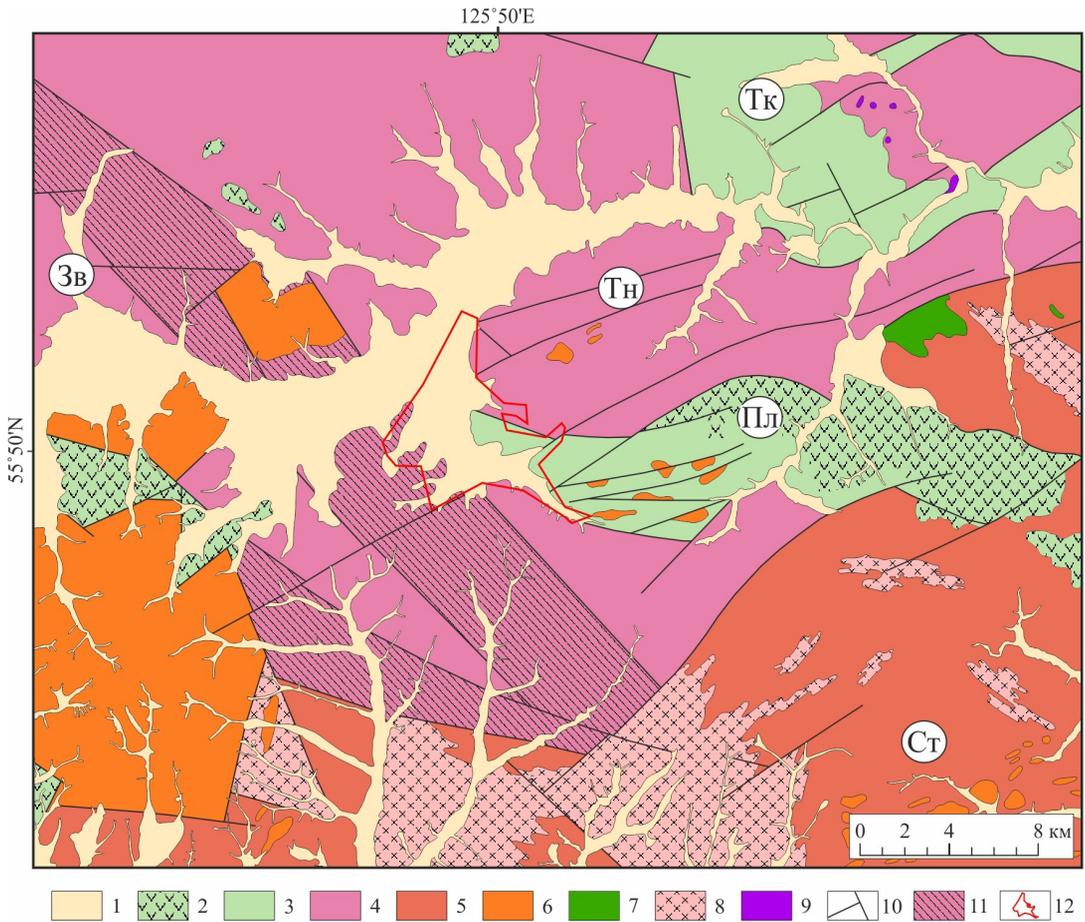


**Рис. 1.** Тектоническая схема Алдано-Станового щита [3] с положением рудных районов [1]

Условные обозначения: 1 – гранит-зеленокаменные террейны (WA – Западно-Алданский, BT – Батомгский); 2 – гранулит-ортоogneисовые террейны (ANM – Нимнырский, CG – Чогарский); 3 – гранулит-параagneисовые террейны (AST – Сутамский, EUC – Учурский); 4 – Тоналит-тронджемит-гнеисовые террейны (TN – Тындинский); 5 – зоны тектонического меланжа (am – Амгинская, kl – Каларская, tr – Тыркандинская); 6 – сшивающие раннепротерозойские гранитные интрузии; 7 – осадочный чехол Сибирской платформы; 8 – разломы (dj – Джелтулакский, ts – Таксакандинский); 9 – надвиги; 10 – рудные районы (1 – Чарский; 2 – Токкинский; 3 – Олдонгсинский; 4 – Кодарский; 5 – Ханинский; 6 – Удоканский; 7 – Каларский; 8 – Олекмо-Куртахский; 9 – Апсаканский; 10 – Верхне-Амгинский; 11 – Верхне-Тимптонский; 12 – Гонамский; 13 – Средне-Сутамский; 14 – Центрально-Алданский; 15 – Эвотинский; 16 – Гувилгринский; 17 – Атугейский; 18 – Тыркандинский; 19 – Ломамский; 20 – Алтан-Чайдахский; 21 – Верхнетокский; 22 – Купури-Майский; 23 – Джанинский; 24 – Магейский; 26 – Учурский; 27 – Чумиканский; 28 – Одолинский; 29 – Уянский. Черной рамкой показан район работ.

**Figure 1.** Tectonic scheme of the Aldan-Stanovoy Shield [3] with the location of ore regions [1]

Legend: 1 – granite-greenstone terranes (WA – West Aldan, VT – Batomga); 2 – granulite-orthogneiss terranes (ANM – Nimnyr, CG – Chogar); 3 – granulite-paragneiss terranes (AST – Sutam, EUC – Uchur); 4 – Tonalite-trondhjemite-gneiss terranes (TN – Tynda); 5 – zones of tectonic mélangé (am – Amga, kl – Kalar, tr – Tyrkanda); 6 – sutured Early Proterozoic granite intrusions; 7 – sedimentary cover of the Siberian platform; 8 – faults (dj – Dzheltulak, ts – Taksakanda); 9 – thrusts; 10 ore districts (1 – Chara; 2 – Tokko; 3 – Oldongo; 4 – Kodar; 5 – Khani; 6 – Udokan; 7 – Kalar; 8 – Olyokma-Kurtakh; 9 – Apsakan; 10 – Upper Amga; 11 – Upper Timpton; 12 – Gonam; 13 – Middle Sutam; 14 – Central-Aldan; 15 – Evoti; 16 – Guvilgri; 17 – Atugei; 18 – Tyrkanda; 19 – Loma; 20 – Altan-Chaidakh; 21 – Upper Tokko; 22 – Kupuri-Maya; 23 – Dzhanan; 24 – Magei; 26 – Uchur; 27 – Chumikan; 28 – Odolin; 29 – Uyan. The black frame shows the area of work.



**Рис. 2.** Геологическая схема верхнего течения р. Гонам. По материалам (Гиммельфарб, 1971ф), с изменениями и дополнениями авторов

Условные обозначения: 1-3 – отложения: 1 – четвертичные; 2 – мезозойские вулканогенно-осадочные; 3 – мезозойские терригенно-осадочные слагающие впадины (Тк – Токариканская, Пл – Половинкинская); 4-5 стратифицированные метаморфические комплексы: 4 – Южно-Алданская область (архей) (Тн – Тангракский блок, Зв – Зверевский блок); 5 – Становая (Ст) область (протерозой); 6-9 – магматические тела: 6 – мезозойские щелочные; 7 – протерозойские основного состава; 7 – протерозойские гранитные; 9 – архейские ультраосновного состава; 10 – разрывные нарушения; 11 – зоны диафторитов; 12 – площадь работ.

**Figure 2.** Geological map of the upper reaches of the Gonam River. Based on materials (Gimmelfarb, 1971f), with changes and additions by the authors

Legend: 1-3 – deposits: 1 – Quaternary; 2 – Mesozoic volcanogenic-sedimentary; 3 – Mesozoic terrigenous-sedimentary constituent basins (Tk – Tokarikanskaya, Pl – Polovinskaya); 4-5 stratified metamorphic complexes: 4 – South Aldan region (Archean) (Tn – Tangrak block, Zv – Zverevsk block); 5 – Stanovaya (St) region (Proterozoic); 6-9 – igneous bodies: 6 – Mesozoic alkaline; 7 – Proterozoic basic composition; 7 – Proterozoic granite; 9 – Archean ultrabasic composition; 10 – faults; 11 – diaphthorite zones; 12 – work area.

В тектоническом плане исследуемая территория расположена в районе влияния Становой зоны разломов, разделяющей крупные структуры – Алданский щит и Становую складчатую область [1] (рис. 1). Тектоническое строение района является сложным, что обусловлено длительностью и многоэтапностью его становления, сопровождавшееся неоднократными процессами метаморфизма, магматизма и деформации [2]. Представления о тектоническом строении района развивались по мере изучения территории и появления новых концепций и моделей. Еще в 60-е годы в пределах Алданского щита выделялись крупные участки, различающиеся по составу слагающих их метаморфических и магматических комплексов, характеру и степени метаморфизма, и структурному стилю [3]. Эти участки различными авторами назывались блоками, мегаблоками, структурно-фациальными зонами, складчатыми зонами или системами, литоплитами [4 – 6].

Мезозойские магматические образования широко распространены на площади в виде даек на западе и отдельных массивов на востоке. Возраст их определяется как позднеюрский – раннемеловой, по аналогии с соседним участком, расположенным севернее района работ, где подобные образования прорывают юрские отложения, а сингенетические им эффузивные породы имеют нижнемеловой возраст (Ветлужских, 1969 ф). Последовательность становления мезозойских магматических пород изучена В. Г. Амарским и Ю. А. Калининым (Леонова, 1972 ф; Пачерская, 1992 ф). По вещественному составу среди этих образований выделяются диориты, диоритовые порфириды, монцодиориты, граниты, гранит-порфиры, кварцевые порфиры. По возрасту выделены позднеюрская и раннемеловая группы, породы которых объединены соответственно в мукундинский, карабуранский комплексы [7].

Магматические породы мезозоя имеют свежий облик, четкие контакты с вмещающими стратифицированными толщами, в которых иногда отмечается ороговикование.

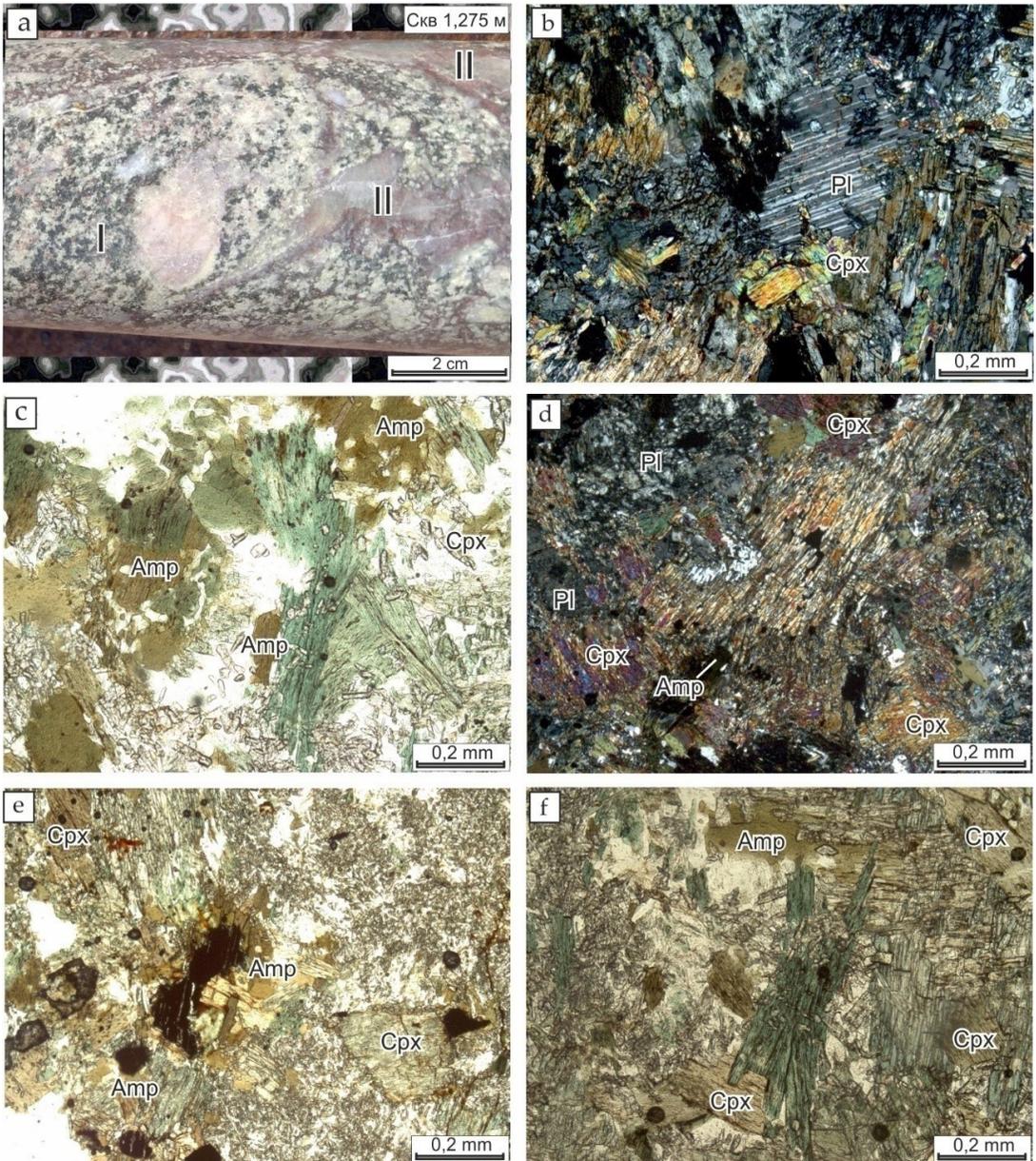
#### **Материалы и аналитические методы**

Каменный материал, использованный в работе отобран из керна скважин К1, К2, К3 и предоставлен ООО Юрский. Изучение петрографического состава пород и подсчет содержания основных породообразующих компонентов осуществлялось с помощью поляризационного микроскопа МИН-8 (32 шлифа). Фотографии шлифов выполнены на электронном микроскопе Olympus BX 50, оснащенный камерой Zeiss Axio CamICc 3. Содержания петрогенных элементов в породах определялись силикатным методом на 19 элементов; определение Cr, Ni, Co, V, Ba, Sr, Y, Yb, Zr, Nb, Sc, Sn, B, Pb, Zn, Cu – атомно-эмиссионным методом. Аналитическая работа выполнена в Центре коллективного пользования физико-химических методов анализа (ЦКП ФХМА, руководитель Васильева А.С.). Проанализирована 41 проба. Содержания микроэлементов Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, Hf, Th, U и лантаноидов определялись масс-спектрометрическим методом с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS (ELAN модель DRC-e) в химико-аналитическом центре «Плазма» (ООО ХАЦ «Плазма», г. Томск).

#### **Петрография магматических пород**

В керне скважин участка Юрский мезозойские магматические образования представлены габбро и впервые выделенными нами андезитами. В основном, эти породы встречаются в нижних горизонтах скважин и на границе фундамента, а также в меловых терригенно-осадочных породах. Встречаются участки, где описанные магматические породы интродуцируют нижнемеловые конгломераты.

*Габбро двутироксеновое* – выявленные в 1, 2 и частично в 3 скважине, породы с мелко-средне-крупнокристаллической, габбровой структурой и массивной текстурой. Контакт с вмещающими нижнемеловыми конгломератами неровный, с обилием обломочного материала конгломератов, из-за чего трудно проследить четкие границы контакта (рис. 3 а). Петрографический состав наименее измененных габбро представлен в следующем виде: измененный плагиоклаз (лабрадор) – 20 %, пироксен (авгит, эгирин) – 40 %, роговая обманка – 10 %, биотит – 3 %, вторичные минералы – хлорит, серицит, уралит – 20 %, рудный минерал – 7 %. Акцессорные минералы представлены магнетитом, ильменитом, сфеном.



**Рис. 3.** Наименее измененные габбро на участке Юрский

Условные обозначения: а – контакт обломочного характера габбро (I) с конгломератами (II); б – шлиф K2320/1, габбровая структура пород, николи +; в – шлиф K2275/1, хлоритизация амфибола, николи -; д – шлиф K2275/1, уралитизация пироксена, николи +; е –шлироподобные скопления темноцветных минералов, николи-, ф –хлоритизация темноцветных минералов, николи-. Здесь и далее сокращения минералов по [8]: Pl – плагиоклаз; Cpx – клинопироксен; Amp – амфибол; Ser – серицит. Николи: скрещенные +, параллельные -

**Figure 3.** The least altered gabbro from the Jurassic area

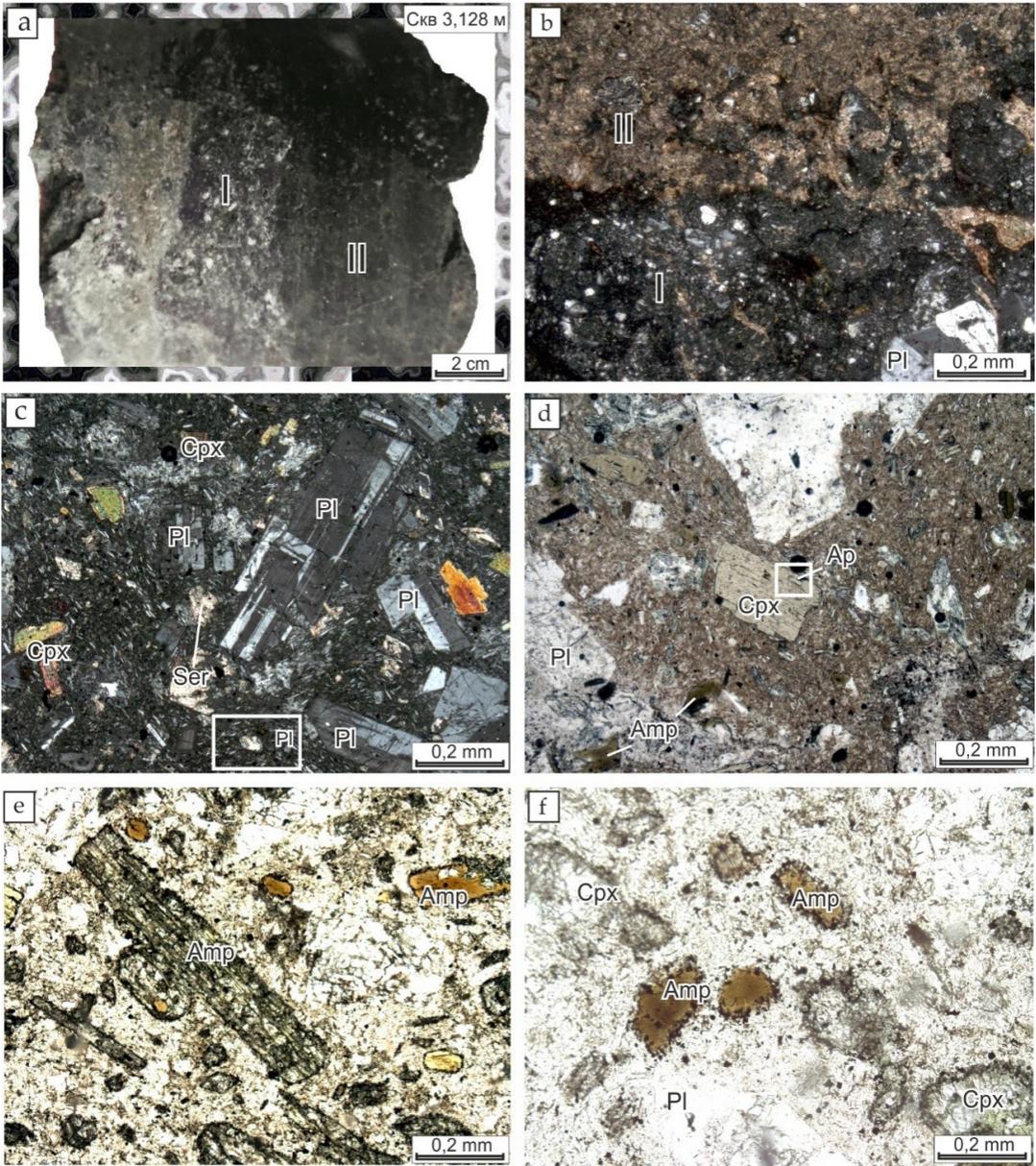
Legend: a – contact of clastic gabbro (I) with conglomerates (II); b – thin section K2320/1, gabbro structure of rocks, nicol +; c – thin section K2275/1, chloritization of amphibole, nicol -; d – thin section K2275/1, uranalitization of pyroxene, nicol +; thin section K3128/1: e – schlieren-like accumulations of dark-colored minerals, nicol -, f – chloritization of dark-colored minerals, nicol -. From here on, mineral abbreviations are according to [8]: Pl – plagioclase; Cpx – clinopyroxene; Amp – amphibole; Ser – sericite. Nicoli: crossed +, parallel -

Плагиоклаз – *лабрадор* ( $An_{50-60}$ ) интенсивно серицитизирован, деанортитизирован, местами почти нацело замещен карбонатом, диагностируется только по отдельным фрагментам (рис. 3 б). Наименее измененный из *авгитов* имеет зеленоватый и буроватый оттенки. Редкий *эгири* выделяется по зеленой окраске и резкому плеохроизму. В целом, пироксены встречаются в виде кристаллов призматической, часто неправильной форм до 0,3 мм, границы которых не ровные, из-за сильных вторичных изменений таких как хлоритизация и опацификация (рис. 3b-f). Нередко отмечается замещение авгита роговой обманкой с образованием *уралита* почти до полных псевдоморфоз (рис. 3 d). Призматические зерна *роговой обманки* нередко фрагментированы, раздроблены, размером до 0,6 мм; плеохроизм от светлой желтовато-коричневой до коричневой окраски (рис. 3 с-f). Более мелкие кристаллы роговой обманки образуют шпироподобные скопления (рис. 3 е). По амфиболу развиваются неправильные агрегаты вторичного хлорита, имеющие зеленую окраску (рис. 3 с, f). Редкий *биотит* наблюдается в виде изоморфных зерен, или замещает амфибол до полных псевдоморфоз. Отмечаются зерна биотита с волнистым погасанием, что является признаком пластической деформации. *Рудный минерал* представлен в виде самостоятельных зёрен 0,4 мм или связан с опацификацией первичных вкрапленников.

*Андезиты роговообманково-авгитовые* установлены только в 3 скважине. Контакт с вмещающими меловыми алевролитами ровный, четкий (рис.4 а, b), контакт с телами габбро не обнаружен. Структура порфировая с пилотакситовой основной массой, текстура массивная.

Около 60 % породы составляют вкрапленники, представленные плагиоклазом (андезин, редко олигоклаз) – 45 %, амфиболом (роговая обманка) – 10 %, пироксеном (авгит) – 5 %; основная масса сложена лейстами плагиоклаза, редкими зернами пироксена и вулканическим стеклом (составляющем около 3 % основной массы породы); рудный минерал – не более 5 %. Порода интенсивно преобразована. Вторичные минералы составляют около 30-35 % объема породы (или площади шлифа) представлены – хлоритом, серицитом, кальцитом, уралитом.

Вкрапленники плагиоклаза – *андезин* ( $An_{30-50}$ ), представлены идиоморфными кристаллами, размером до 0,8 мм, призматического, таблитчатого габитусов, частично серицитизированы, сосюритизированы и карбонатизированы, нередко имеет зональное строение. Для наименее измененных кристаллов андезина, характерны широкие полисинтетические двойники. Редкий *олигоклаз* выделяется по более тонким полисинтетическим двойникам (рис. 4 с), также, как и андезин подвержен вторичным изменениям. *Авгит* наблюдается в виде удлинённой формы кристаллов с неровными краями (до 0,3 мм) светлого или бледного травяно-зеленого цвета (рис. 4 с, d). Часто замещается роговой обманкой почти до полных псевдоморфоз (рис. 4 е); в единичных случаях содержит мелкие включения *апатита* (рис. 4 d). *Роговая обманка* образует призматические кристаллы, размером до 0,6 мм; плеохроизм от светлой желтовато-коричневой до коричневой окраски (рис. 4 е). Вкрапленники темноцветных минералов нередко хлоритизированы; светло-зеленый *хлорит* развивается вдоль спайности и по краям кристаллов (рис. 4 е). Основная масса состоит из хлоритизированного *вулканического стекла* и лейст сосюритизированного и карбонатизированного *плагиоклаза* ориентированных в одном направлении (рис. 4 с, d). *Рудный минерал* не равномерно распределен в породе в качестве выделений 0,3 мм неправильной формы и развивается по темноцветным минералам формируя опацифовые каймы (рис.4 f). Редко отмечаются кристаллы *апатита* с характерными кристаллографическими очертаниями (рис. 4 d).



**Рис. 4.** Наименее измененные андезиты участка Юрский (скважина 3)

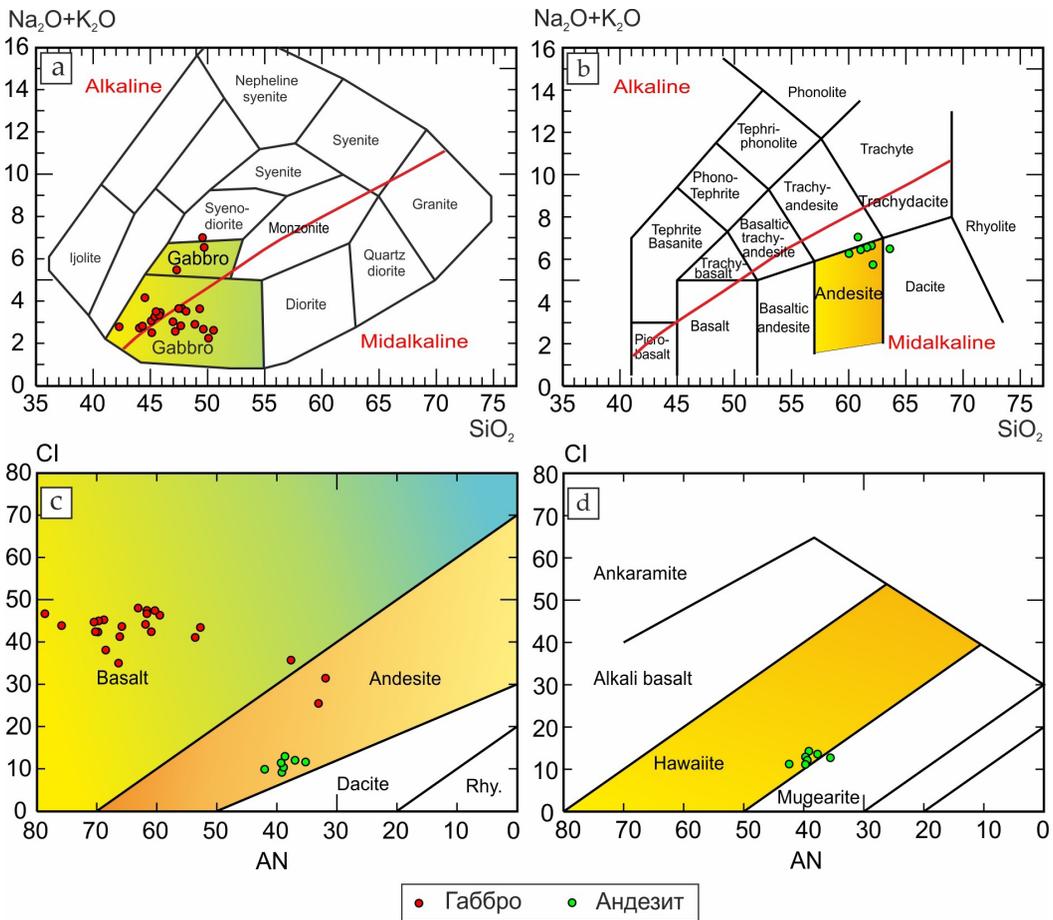
Условные обозначения: а – скв. 3-128м, контакт андезитов (I) с алевролитами (II); б – шлиф K3128/1, контакт андезита с вмещающими алевролитами, николи +; в – шлиф K3117/1, пилотаксовая структура основной массы николи +; д – шлиф K3115/1, идиоморфный авгит, с включением апатита николи -; е – шлиф K3182/1, хлоритизированный амфибол, николи -; ф – шлиф K3182/1, опацитовая каемка по темноцветным минералам, николи-. Обозначения минералов см. на рис. 3

**Figure 4.** The least altered andesites of the Jurassic area (well 3)

Legend: a – well 3-128 m, contact of andesites (I) with siltstones (II); b – thin section K3128/1, contact of andesite with host siltstones, nicoli +; c – thin section K3117/1, pilotaxite structure of the groundmass, nicoli +; d – thin section K3115/1, euhedral augite with inclusion of apatite, nicoli -; e – thin section K3182/1, chloritized amphibole, nicoli -; f – thin section K3182/1, opacite rim over dark-colored minerals, nicoli-. For mineral designations, see Fig. 3

**Петрохимический состав пород**

Выделенные в результате исследования керн скважин *габбро*, слагающие интрузивные тела участка Юрский, по суммарному содержанию щелочей относятся как к щелочным, так и в большей мере к умереннощелочным породам [9, 10] ( $Na_2O+K_2O=2,27-6,93\%$ , калиево-натриевого типа щелочности ( $Na_2O/K_2O=1-4$ ) (рис. 5 а, табл. 1). Породы принадлежат к низкоглиноземистой ( $al' - 0,42-0,61 < 0,75$ ) и магниальной ( $f^* - 0,31-0,51 < 0,78$ ) сериям (табл. 1). Согласно классификационной диаграмме  $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$  [11] рассматриваемые породы относятся к габбро (рис. 5 а). Фигуративные точки на диаграмме CI-AN [9] располагаются преимущественно в поле базальтов (рис. 5 с) и по составу плагиоклаза ( $Ab'-An-Or$ ) [9] соответствуют высококалиевым породам (рис. 6 а). По вариациям составов на диаграммах  $FeO^*/MgO-SiO_2$  [13] и AFM [9] габбро наиболее близки к образованиям толеитовой петрохимической серии (рис. 6 с, d).



**Рис. 5.** Классификационные диаграммы для мезозойских магматических образований участка Юрский  
 а – Диаграмма классификации интрузивных пород  $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$  по [11]. Здесь и на диаграмме (b) красная линия – разделение пород по типу щелочности по [9]  
 б – Диаграмма классификации вулканических пород  $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$  по [12].  
 с, d – Диаграммы дифференциации магматических серий CI-AN по [9]

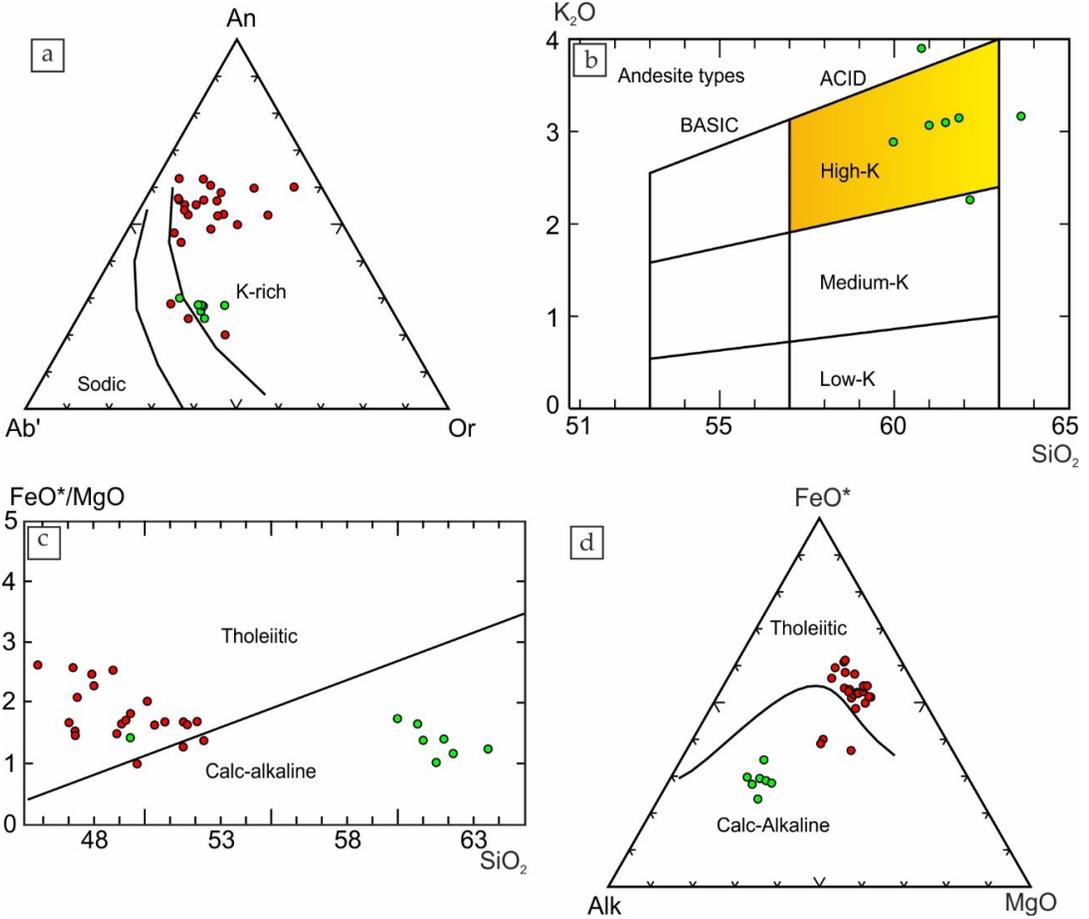
**Figure 5.** Classification diagrams for Mesozoic igneous formations of the Jurassic area  
 а – Classification diagram of intrusive rocks  $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$  according to [11]. Here and in the diagram (b) the red line is the division of rocks by alkalinity type according to [9]  
 б – Classification diagram of volcanic rocks  $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$  according to [12].  
 с, d – Differentiation diagrams of igneous series CI-AN according to [9]

Таблица 1 – Петрохимический состав мезозойских(?) магматических пород участка Юрский (вес %)  
 Table 1 – Petrochemical composition of Mesozoic(?) igneous rocks of the Jurassic area (weight %)

№ образца	K1262/1	K1281/1	K1282/1	K1297/1	K1302/1	K1305/1	K2243/1	K2263/2	K2264/1	K2267/1	K2275/1	K2276/1	K2289/1	K2292/1	K2314/1	K2318/1
Породы																
SiO <sub>2</sub>	47,4	50,54	50,07	45,42	47,61	47,65	42,3	49,71	49,55	44,37	49,68	48,11	45,52	45,21	45,16	44,55
TiO <sub>2</sub>	1,95	1,01	1,03	1,18	1,46	1,36	1,2	1,97	1,65	1,81	1,02	0,79	1,33	1,34	1,45	1,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,02	14,09	14,56	14,87	14,48	14,12	13,82	15,63	15,76	13,83	13,04	15,04	14,9	15,26	14,98	15,89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,33	4,45	4,28	5,31	6,07	5,34	7,95	7,77	5,67	9,91	5,51	5,64	6,41	5,16	6,03	8,82
FeO	6,85	7,41	7,28	6,9	6,72	6,79	7,17	2,54	4,28	4,86	6,87	6,56	7,79	6,56	6,03	5,31
MnO	0,23	0,24	0,23	0,2	0,22	0,23	0,25	0,11	0,11	0,23	0,23	0,18	0,21	0,18	0,19	0,23
MgO	5,41	6,82	6,87	7,2	6,88	7,94	5,88	7,24	7,32	5,65	7,49	7,21	6,21	8,01	8,06	5,75
CaO	9,91	10,3	10,89	12,3	9,65	11,58	11,58	3,48	4,74	11,35	10,18	8,17	9,68	11,26	11,57	7,54
Na <sub>2</sub> O	2,66	2,01	1,85	1,8	1,94	1,99	1,7	2,95	3,94	0,9	1,72	1,7	0,4	1,52	1,58	1,7
K <sub>2</sub> O	1,03	0,62	0,42	1,73	1,77	0,85	1,09	3,64	2,99	1,9	0,95	1,82	2,83	1,46	0,91	2,43
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,4	0,38	0,34	0,18	0,32	0,3	0,78	0,62	0,94	1,03	0,42	0,64	0,56	0,76	0,5	0,74
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13	0,06	0,06	0,11	0,1	0,09	0,13	0,85	0,87	0,1	0,07	0,07	0,1	0,12	0,11	0,1
CO <sub>2</sub>	0,37	0,81	1,07	1,13	1,18	1,16	4,2	0,84	0,25	1,97	0,32	0,22	0,77	1,06	0,5	1,68
Li <sub>2</sub> O	0,224	0,145	0,146	0,240	0,255	0,161	0,313	0,503	0,338	0,268	0,226	0,325	0,299	0,250	0,235	0,271
Rb <sub>2</sub> O	0,277	0,158	0,089	0,385	0,483	0,180	0,373	0,814	0,692	0,582	0,252	0,410	0,676	0,247	0,139	0,532
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0
F	0,05	0,03	0,03	0,1	0,09	0,09	0,08	0,06	0,1	0,16	0,13	0,09	0,12	0,25	0,3	0,2
Summa	100,16	99,94	100,1	100,1	99,94	100,2	100,2	100,1	100,51	99,58	99,33	99,61	99,79	99,45	99,7	99,58
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	3,69	2,63	2,27	3,53	3,71	2,84	2,79	6,59	6,93	2,8	2,67	3,52	3,23	2,98	2,49	4,13
Na <sub>2</sub> O/ K <sub>2</sub> O	2,58	3,24	4,40	1,04	1,10	2,34	1,56	0,81	1,32	0,47	1,81	0,93	0,14	1,04	1,74	0,70
K <sub>2</sub> O/ Na <sub>2</sub> O	0,39	0,31	0,23	0,96	0,91	0,43	0,64	1,23	0,76	2,11	0,55	1,07	7,08	0,96	0,58	1,43
al <sup>*</sup>	0,53	0,46	0,48	0,47	0,47	0,43	0,46	0,58	0,56	0,50	0,40	0,48	0,48	0,46	0,46	0,57
f <sup>*</sup>	0,51	0,44	0,43	0,42	0,44	0,39	0,51	0,32	0,34	0,48	0,41	0,41	0,49	0,38	0,38	0,48
ASI	0,64	0,62	0,62	0,55	0,64	0,56	0,55	1,03	0,86	0,57	0,58	0,77	0,70	0,62	0,61	0,83

№ образца	1											2										
	K2320/1	K2321/1	K2327/1	K2330/1	K2338/1	K2352/1	K3213/1	K3244/1	K3115/1	K3117/1	K3119/1	K3129/1	K3134/1	K3189/1	K3194/1							
SiO <sub>2</sub>	48,91	47,2	45,93	44,16	47,01	47,23	49,43	46,22	60,78	61,48	61,84	63,6	62,17	59,97	60,99							
TiO <sub>2</sub>	1,09	1,2	1,31	1,49	0,86	1,45	1,19	0,84	0,43	0,49	0,58	0,4	0,37	0,39	0,54							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,9	13,81	13,29	14,99	13,77	14,02	13,92	16,03	17,03	16,11	15,76	15,66	15,83	15,46	15,79							
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,5	5,28	7,35	6,06	6,02	2,94	5,61	5,4	1,43	0	1,18	1,17	1,13	1,48	1,15							
FeO	7,39	7,46	4,78	7,26	6,47	6,24	5,06	5,57	2,74	2,99	2,92	2,83	2,4	3,41	2,43							
MnO	0,23	0,24	0,21	0,21	0,23	0,15	0,19	0,18	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06							
MgO	7,21	7,42	6,08	6,46	7,42	9,25	7,11	5,97	2,44	2,96	2,87	3,14	2,95	2,69	2,52							
CaO	11,2	11,05	9,95	10,32	11,44	7,67	10,52	11,52	4,13	4,34	4,17	3,29	3,99	4,46	4,98							
Na <sub>2</sub> O	2,04	1,99	0,93	1,55	2,04	3,55	2,47	1,71	3,16	3,51	3,55	3,33	3,47	3,43	3,42							
K <sub>2</sub> O	0,85	0,58	2,47	1,13	0,99	1,94	1,23	1,62	3,9	3,1	3,15	3,16	2,26	2,89	3,07							
H <sub>2</sub> O	0,28	0,42	0,72	0,64	0,34	0,42	0,48	0,36	1,73	0,78	1,1	1,12	1,12	0,99	1,06							
H <sub>2</sub> O*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	0,1	0,11	0,11	0,07	0,79	0,12	0,06	0,18	0,18	0,18	0,16	0,17	0,17	0,17							
CO <sub>2</sub>	0,02	1,53	2,6	1,91	0,59	1,56	0,94	1,79	1,79	1,88	1,87	1,42	2,26	3,78	2,96							
Li <sub>2</sub> O	0,135	0,140	0,274	0,237	0,148	0,332	0,202	0,219	0,144	0,223	0,204	0,227	0,303	0,209	0,216							
Rb <sub>2</sub> O	0,185	0,130	0,633	0,329	0,189	0,275	0,262	0,380	0,954	0,687	0,705	0,737	0,753	0,840	0,768							
S	0	0	0	0	0	0,14	0	0	0	0,07	0,02	0,06	0,07	0	0							
F	0,08	0,2	0,19	0,19	0,2	0,18	0,14	0,14	0,13	0,12	0,09	0,1	0,1	0,08	0,09							
Summa	99,77	99,75	99,32	99,75	99,24	99,6	99,27	99,5	100,48	99,44	99,95	100,1	99,28	99,7	100,3							
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	2,89	2,57	3,4	2,68	3,03	5,49	3,7	3,33	7,06	6,61	6,7	6,49	5,73	6,32	6,49							
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	2,40	3,43	0,38	1,37	2,06	1,83	2,01	1,06	0,81	1,13	1,13	1,05	1,54	1,19	1,11							
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0,42	0,29	2,66	0,73	0,49	0,55	0,50	0,95	1,23	0,88	0,89	0,95	0,65	0,84	0,90							
al'	0,44	0,42	0,49	0,49	0,43	0,41	0,48	0,61	1,55	1,37	1,30	1,23	1,37	1,23	1,50							
f*	0,42	0,43	0,43	0,46	0,41	0,31	0,37	0,43	0,44	0,36	0,40	0,37	0,36	0,46	0,40							
ASI	0,56	0,58	0,60	0,67	0,55	0,64	0,57	0,63	1,01	0,95	0,94	1,05	1,03	0,92	0,88							

Примечания: 1 – габбро, 2 – андезиты; al' Al/(Fe\*+Mg), f\* FeO\*/(FeO\*+MgO), ASI Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) мол.  
 Notes: 1 – gabbro, 2 – andesites; al' Al/(Fe\*+Mg), f\* FeO\*/(FeO\*+MgO), ASI Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) mol.



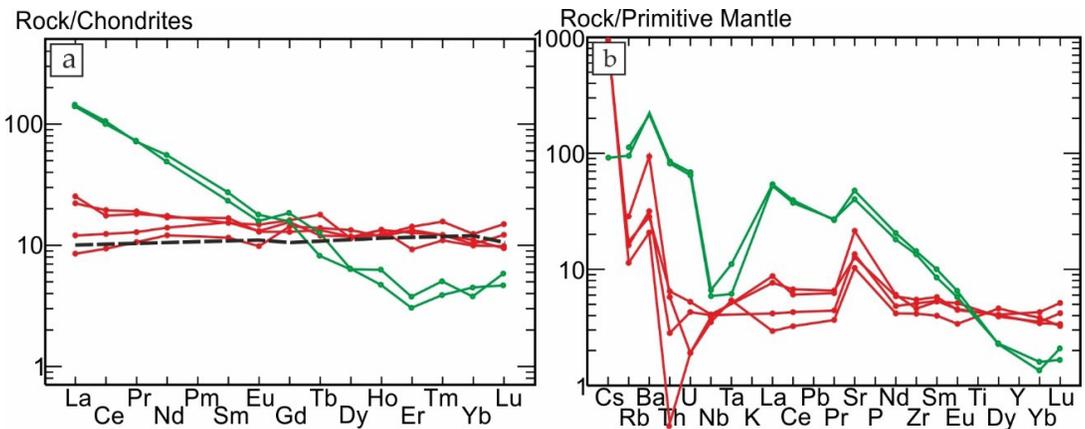
**Рис. 6.** Классификационные диаграммы для магматических образований участка Юрский  
 а – Диаграмма состава плагиоклаза (Ab'-An-Or), по [9]  
 б – Диаграмма типизации андезитов ( $K_2O - SiO_2$ ), по [14]  
 в – Диаграмма разделения базальтов на толеитовую и известково-щелочную серии ( $FeO^*/MgO - SiO_2$ ), по [13]  
 г – Диаграмма дифференциации магмы на толеитовую и известково-щелочную серии (AFM), по [9]  
 Условные обозначения пород на рис. 3.

**Figure 6.** Classification diagrams for igneous formations of the Jurassic area  
 а – Plagioclase composition diagram (Ab'-An-Or), according to [9]  
 б – Andesite typification diagram ( $K_2O - SiO_2$ ), according to [14]  
 в – Diagram of basalt division into tholeiitic and calc-alkaline series ( $FeO^*/MgO - SiO_2$ ), according to [13]  
 г – Diagram of magma differentiation into tholeiitic and calc-alkaline series (AFM), according to [9]  
 Legend's symbols for rocks in Fig. 3

Выделенные впервые *андезиты* участка Юрский по суммарному содержанию щелочей ( $Na_2O+K_2O=5,73-7,06$  % отвечают умереннощелочным образованиям [9, 10] (рис. 5 б, табл. 1). Породы характеризуются калиево-натриевым типом щелочности ( $Na_2O/K_2O=1-4$ ), а также относятся к высокоглиноземистой ( $al' 1,23-1,55$ ) и магнезиальной ( $f^* 0,36-0,4$ ) сериям (табл. 1). По классификационным данным ( $Na_2O+K_2O$ )- $SiO_2$  [12] рассматриваемые составы пород относятся к андезитам (рис. 5 б). Что согласуется с построениями на диаграммах (CI-AN) [9], где последние занимают положение полей андезитов (рис. 5 в) или гавайтов (рис. 5 г) и отвечают [9, 14] высококалиевым породам (рис. 6 а, б). По распределению составов на диаграммах ( $FeO^*/MgO-SiO_2$ ) [13] и (AFM) [9] андезиты относятся к известково-щелочной петрохимической серии (рис. 6 в, г).

**Геохимический состав пород**

Габбро геохимически специализированы на литофильные элементы Sr, Ba, Cr, B, V, Sc, Nb, Zr, Y; халькофильные (Cu, Sn, Zn Pb, Ge) и сидерофильные (Ni, Co) элементы содержатся в значительно меньших концентрациях (табл. 2). По содержаниям элементов – Cr (100-470 г/т), V (170-420 г/т), Ni (89-330 г/т), Co (39-54 г/т), отношению Ni/Co (1,83-3,26), (табл. 2), Rb (7,22-18,14 г/т), Sr (216,35-452,42 г/т), Zr (46,47-61,33 г/т), Hf (0,99-1,33 г/т), La (2,02-6,01 г/т), Ce (5,74-11,94 г/т), Y (18,09-19,22 г/т), при вариациях отношения K/Rb (434,77-637,73) (табл. 3) габбро соответствуют производным толеитовой серии пород [15]. Распределение РЗЭ характеризуется пониженными концентрациями, как легких, так и тяжелых элементов  $\sum$ РЗЭ 28,93-41,94 (табл. 3, рис. 7а). Отмечаются пологие спектры распределения РЗЭ с содержаниями на уровне 10 хондритовых, со слабой отрицательной Eu аномалией ( $Eu/Eu^*=0,76-0,94$ ). На спайдер-диаграмме отчетливо заметны минимумы в содержаниях Rb и Th, а также ярко выраженные максимумы Ba, La и Sr.



**Рис. 7.** Спектры распределения РЗЭ (а), спайдер-диаграмма распределения микроэлементов и РЗЭ (б).

Линии спектров: красный цвет – габбро, зеленый – андезиты. Нормирование составов:

а – к хондриту [16]; б – к примитивной мантии [17]

**Figure 7.** REE distribution spectra (a), spider diagram of microelement and REE distribution (b).

Spectrum lines: red – gabbro, green – andesites. Normalization of compositions [16];

b – to primitive mantle [17]

Таблица 2 – Геохимический состав магматических пород участка Юрекий по данным МАЭС+PGS-2 (г/т)  
 Table 2 – Geochemical composition of igneous rocks of the Jurassic site according to MAES+PGS-2 data (ppm)

№ пробы	I										II						III	
	Sr	Ba	Cr	V	Sc	Nb	Zr	Y	Cu	Sn	Zn	Pb	Ge	Ni	Co	Ni/Co		
По [18]																		
K1262/1	560	240	130	420	72	9,89	140	32	100	2,84	80,2	12,6	1,92	110	39,3	2,80		
K1281/1	210	160	280	280	57	6,38	70,8	18	100	3,34	90	5,02	1,54	110	48,7	2,26		
K1282/1	240	320	330	280	61	9,97	76,8	23,9	50,4	2,13	90,5	4,83	2,16	120	47,1	2,55		
K1297/1	690	480	120	260	43	10,6	85,7	17,5	24,8	2,59	91,3	24,2	2,14	88,6	44,9	1,97		
K1302/1	510	330	190	350	57	13,8	110	28,6	28,6	3,19	120	15,6	2,04	110	48,5	2,27		
K1305/1	270	230	230	340	63	7,61	83,1	20,1	63,6	2,9	91,4	8,45	2,03	89	47	1,89		
K2243/1	840	360	170	450	94	38,5	200	36	56,2	2,71	140	8,88	2,15	120	48,3	2,48		
K2263/2	2400	1900	270	170	26,7	36,4	240	28,8	36,3	4,9	250	16,2	1,01	240	35	6,86		
K2264/1	3200	910	330	190	34	34,8	210	29,4	72,7	2,69	87,9	20,1	0,928	220	43,6	5,05		
K2267/1	660	170	220	350	77	26,8	140	27,6	83,1	2,63	120	16,5	1,86	87,8	47,6	1,84		
K2275/1	600	520	470	270	67	20,1	110	20,9	17,2	2,5	110	6,75	1,7	130	50	2,60		
K2276/1	510	470	620	280	62	12,8	82,2	19,8	30,8	35,3	120	7,28	1,93	130	47,6	2,73		
K2289/1	820	370	170	280	66	35,6	190	35,2	150	2,64	220	16,6	1,72	90,4	39,5	2,29		
K2292/1	550	420	190	250	62	24,8	120	22	62,6	2,47	180	12,1	2,06	110	54,1	2,03		
K2314/1	360	160	190	240	53	11,9	110	15,4	35,2	4,01	110	7,81	1,9	110	45,5	2,42		
K2318/1	1400	250	170	300	82	21,7	140	40,1	73	5,16	150	42,6	2,59	110	46,4	2,37		
K2320/1	330	240	260	330	58	9,7	100	21,6	56,5	1,82	130	13,8	2,9	110	49,3	2,23		
K2321/1	460	140	240	280	70	19,4	110	25,8	69,8	2,52	83,9	11,4	2,01	91	45,2	2,01		
K2327/1	960	470	240	290	68	29,6	120	28,5	16,3	2,62	150	10,8	2,64	96,4	44,4	2,17		
K2330/1	790	300	400	350	68	15,2	110	27,7	41,4	2,91	330	15,7	2,78	170	52,2	3,26		
K2338/1	190	140	200	330	65	8,85	99	20,4	260	3,41	88,7	11,9	1,96	76,9	42,1	1,83		
K2352/1	2200	2900	360	190	28	15,6	180	21,2	120	5,96	130	14,9	0,878	330	43,9	7,52		
K3213/1	560	520	230	280	52	8,74	110	17,5	37,7	1,99	97,3	12,9	1,68	90,4	46	1,97		
K3244/1	1100	290	100	190	66	28,2	110	18,6	46,4	1,82	97,1	29	1,28	81,3	38,6	2,11		
K3115/1	1400	1600	140	81,1	16,6	25,5	280	13,5	32,4	3,01	42,6	65,4	0,871	61	14,3	4,27		
K3117/1	1500	1200	300	56,6	16,2	23,5	270	12,6	53,5	4,62	47,1	75,2	1,41	64,8	12,3	5,27		
K3119/1	1300	1200	370	63,3	14,8	10,1	250	11,8	8,2	2,76	46,2	67,8	1,29	57,3	14	4,09		
K3129/1	1200	1300	230	55,7	13,4	13,9	230	12,4	63	4,39	140	91,6	1,73	59,3	11,8	5,03		
K3134/1	1100	1700	160	70,7	10,9	19,8	240	10,4	39,3	3,02	82,2	83,8	1,84	56,8	15,3	3,71		
K3189/1	1100	1100	130	69,3	11,4	20,3	260	9,23	24,3	2,73	52,7	61	0,955	60,9	15,2	4,01		
K3194/1	1400	1100	220	57,2	9,66	24,1	250	9,67	18,6	1,41	42,3	49,7	0,835	62	13,4	4,63		

Примечания: 1 – габбро, 2 – андезиты; Элементы по классификации [18]: I – литофильные, II – халькофильные, III – сидерофильные.

Notes: 1 – gabbro, 2 – andesites; Elements according to classification [16]: I – lithophile, II – chalcophile, III – siderophile.

Характеристика геохимической специализации *андезитов* схожа с габбро, т.е. при преобладании в составе пород элементов литофильной группы Sr, Ba, Cr, B, V, Sc, Nb, Zr, Y, отмечается снижение концентраций халькофильных Cu, Sn, Zn Pb, Ge и сидерофильных Ni, Co элементов (табл. 2). При этом, в сравнении с габбро, наблюдается рост содержаний части литофильных элементов Sr, Ba, Cr, Zr и значительное снижение значений халькофильных Cu, Sn, Zn Pb, Ge и сидерофильных Ni, Co групп (табл. 2).

Содержания элементов – Ba (1200-1700 г/т), Ni (57,3-64,8 г/т), Co (11,8-15,3 г/т), при отношении значений Rb/Sr (0,06-0,08) (табл. 2), Sr (792,61-939,28), Zr (143,51-152,63), Hf (3,17-3,27), Yb (0,65-0,77) (табл. 3) в андезитах отвечают латитовой серии пород (латиты шошонитового типа)[15]. Спектры распределения РЗЭ имеют отрицательный наклон при резком преобладании легких над тяжелыми элементами, со слабыми отрицательными Eu (Eu/Eu\*=0,77-0,86) и Er аномалиями, а также с положительной Gd аномалией (рис. 7а, табл. 2). Суммарное содержание РЗЭ при сопоставлении с габбро значительно выше  $\Sigma$ РЗЭ 138,10-145,74 (табл. 3). На спайдер-диаграмме андезитов максимальные концентрации установлены для Ba, La, Sr и минимальные для Nb, Ta (рис. 7 б).

Таблица 3 – Геохимический состав магматических пород участка Юрский по данным ICPMS (г/т)  
Table 3 – Geochemical composition of igneous rocks of the Jurassic site according to ICP MS data (ppm)

№ проб	K1281/1	K1282/1	K2275/1	K2320/1	K3119/1	K3194/1
Породы	1			2		
Rb	10,24	7,22	18,14	11,06	55,88	65,99
Sr	284,69	216,35	452,42	267,15	939,28	792,61
Y	19,22	19,04	18,89	18,09	7,89	7,73
Zr	57,11	46,47	51,44	61,33	152,63	143,51
Nb	2,87	2,50	2,77	2,91	4,54	4,03
Cs	7,30	7,44	<0,01	<0,01	0,67	<0,01
Ba	221,36	145,03	655,45	197,57	1429,65	1375,10
La	2,86	2,02	6,01	5,26	34,65	33,56
Ce	7,59	5,74	10,75	11,94	65,49	62,08
Pr	1,22	1,01	1,72	1,81	6,90	7,02
Nd	6,53	5,65	8,18	7,93	26,28	23,16
Sm	2,37	1,77	2,34	2,56	4,24	3,61
Eu	0,76	0,57	0,86	0,75	1,05	0,93
Gd	3,20	2,94	3,31	2,65	3,27	3,84
Tb	0,45	0,52	0,67	0,50	0,31	0,48
Dy	3,00	3,39	2,89	2,98	1,63	1,65
Ho	0,69	0,67	0,76	0,76	0,36	0,27
Er	2,36	2,21	2,10	1,53	0,63	0,51
Tm	0,40	0,31	0,31	0,28	0,13	0,10
Yb	2,11	1,88	1,74	1,69	0,65	0,77
Lu	0,38	0,24	0,31	0,25	0,15	0,12
Hf	0,99	1,12	1,33	1,05	3,27	3,17
Ta	<0,01	0,22	<0,01	<0,01	0,43	0,24
Th	0,24	0,04	0,49	0,55	6,70	6,42
U	0,09	0,04	0,04	0,11	1,34	1,26
K/Rb	502,71	483,12	434,77	637,73	469,36	386,15
Rb/Sr	0,04	0,03	0,04	0,04	0,06	0,08
Ba/Rb	21,62	20,10	36,14	17,86	25,58	20,84
Nb/La	1,00	1,24	0,46	0,55	0,13	0,12

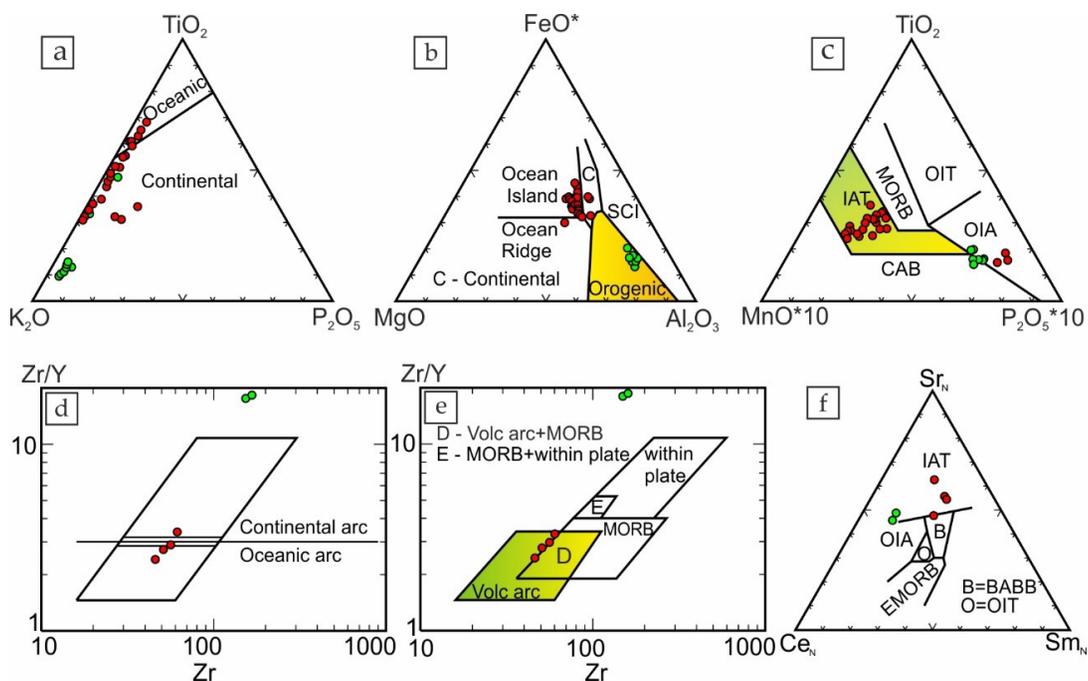
Th/U	2,51	1,04	12,86	4,84	5,01	5,09
Y/Nb	6,71	7,62	6,83	6,23	1,74	1,92
Eu/Eu*	0,84	0,76	0,94	0,88	0,86	0,77
ΣPЗЭ	33,91	28,93	41,94	40,88	145,74	138,10

Примечания: 1 – габбро; 2 – андезиты;  $Eu/Eu^* = Eu_N / [Sm_N \times Gd_N]^{1/2}$

Notes: 1 – gabbro; 2 – andesites;  $Eu/Eu^* = Eu_N / [Sm_N \times Gd_N]^{1/2}$

### Условия образования магматических пород

На диаграммах геодинамических обстановок  $K_2O-TiO_2-P_2O_5$  [19] тела *габбро* относятся к континентальным образованиям, с незначительной долей океанических разностей (рис. 8 а). Напротив, исходя из особенностей петрохимического состава, на диаграмме  $MgO-FeO^*-Al_2O_3$



**Рис. 8.** Дискриминационные диаграммы для мезозойских магматических пород участка Юрский

а – Диаграмма разделения океанических и континентальных базальтов  $K_2O-TiO_2-P_2O_5$ , по [19]

б – Диаграмма для пород базальтового и андезитового состава  $MgO-FeO^*-Al_2O_3$ , по [20]

с – Диаграмма для пород базальтового и андезитового состава  $Mn^*10-TiO_2-P_2O_5^*10$ , по [21]

д, е – Диаграммы разделения базальтов  $Zr/Y-Zr$ , по [22]

ф – Диаграмма разделения базальтов  $Ce_N-Sr_N-Sm_N$ , по [20]

Обозначения полей диаграмм: CAB – известково-щелочные базальты; IAT – островодужные толеиты; MORB – базальты срединно-океанических хребтов; OIT – толеиты океанических островов; OIA – андезиты океанических островов; BABB – базальты задуговых бассейнов

**Figure 8.** Discriminant diagrams for Mesozoic igneous rocks of the Jurassic area

a – Diagram of separation of oceanic and continental basalts  $K_2O-TiO_2-P_2O_5$  [19]

b – Diagram for rocks of basaltic and andesitic composition  $MgO-FeO^*-Al_2O_3$  [20]

c – Diagram for rocks of basaltic and andesitic composition  $Mn^*10-TiO_2-P_2O_5^*10$  [21]

d, e – Diagrams of separation of basalts  $Zr/Y-Zr$  [22]

f – Diagram of separation of basalts  $Ce_N-Sr_N-Sm_N$  [20]

Designations of diagram fields: CAB – calc-alkaline basalts; IAT – island-arc tholeiites; MORB – basalts of mid-ocean ridges; OIT – tholeiites of oceanic islands; OIA – andesites of oceanic islands; BABB – back-arc basin basalts

[20], точки составов занимают поле базальтов океанических островов (рис. 8 б). Что подтверждается расположением фигуративных точек составов на диаграмме  $Mn^{*}10-TiO_2-P_2O_5*10$  [21], где габбро преимущественно занимает поле островодужных толеитов (рис. 8 с).

По соотношениям  $Zr/Y-Zr$  [22], габбро относятся к образованиям как океанических, так и в меньшей мере континентальных вулканических дуг (рис. 8 d, e), что также определяется индексом  $ASI Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)<1,05$  [23] (табл. 1). Наличие фигуративных точек в области островодужных толеитов, выделенных при интерпретации петрохимических параметров подтверждается отношением  $Se_N-Sr_N-Sm_N$  [20] (рис. 8 f).

В результате анализа различных индексов, отражающих условия формирования габбро –  $K/Rb$  (434,77-637,73),  $Rb/Sr$  (0,03-0,04),  $Ba/Rb$  17,86-36,14 (табл. 3) характерны для пород, образовавшихся из мантийного источника [24]. Отношения  $Nb/La$  (0,55-1,24), а также  $Th/U$  (в пределах 1,04-12,86) (табл. 3) отражает степень контаминации магм континентальной корой [25, 26]. Высокое отношение  $Y/Nb$  (6,23-7,62) (табл. 3) также отражает вклад мантийных источников [27]. Для тел, сложенных габбро как уже отмечалось, характерно наличие слабой отрицательной  $Eu$ -аномалией  $Eu/Eu^*=0,76-0,94$  (табл. 3) что может говорить о формировании первичных мантийных магм при фракционной кристаллизации темноцветных породообразующих минералов [27].

На диаграмме отношений  $K_2O-TiO_2-P_2O_5$  [19] фигуративные точки составов *андезитов* ложатся в поле континентальных образований (рис. 8 а). По отношению  $MgO-FeO^*-Al_2O_3$  [20], относятся к образованиям вулканических дуг и активных континентальных окраин (рис. 8 б). Значение индекса  $ASI Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)<1,05$  [22] (табл. 1) характерно для образований вулканических дуг.

На классификационной диаграмме  $Mn^{*}10-TiO_2-P_2O_5*10$  [21] фигуративные точки андезитов попадают в области океанических островов и известково-щелочных базальтов (рис. 8 с). По соотношениям  $Zr/Y-Zr$  [22], андезиты относятся к континентальным образованиям (рис. 8 d, e). В тоже время по отношению  $Se_N-Sr_N-Sm_N$  рассматриваемые породы близки островодужным толеитам [20] (рис. 8 f). Слабая отрицательная  $Eu$ -аномалия  $Eu/Eu^*=0,77-0,86$  (табл. 3) в андезитах, свидетельствует о формировании первичных мантийных магм при фракционной кристаллизации темноцветных породообразующих минералов [27].

Отношения  $K/Rb$  (386,15-469,36),  $Rb/Sr$  (0,06-0,08),  $Ba/Rb$  (20,84-25,58) в рассматриваемых андезитах (табл. 3), характерны для пород, образовавшихся из мантийного источника [24]. Отношения  $Nb/La$  (0,12-0,13) и  $Th/U$  (5,01-5,09) (табл. 3) отражают степень контаминации магм континентальной корой [25, 26], на что также указывают низкие значения отношения  $Y/Nb$  (1,74-1,92) (табл. 3) [27].

### Обсуждение

Петрографическое изучение рассматриваемых пород показало, что габбро интенсивно преобразованы вторичными процессами (серицитизацией, соссюритизацией, карбонатизацией, хлоритизацией, уралитизацией). В силу чего в большинстве случаев породы не поддаются диагностике на микроуровне. Контакты габбро с вмещающими породами не четкие, с обилием обломков конгломератов, кристаллосланцев, гнейсов, до образования брекчий магматического характера. Стоит отметить наибольшее содержание рудного минерала в габбро до 7 %, в отличие от наименее измененных вторичными процессами роговообманково-авгитовых андезитов (скважина К3). Контакты последних с вмещающими алевролитами четкие, ровные. По взаимоотношению пород, а также по особенностям петрографического состава предполагается следующая последовательность образования и внедрения: 1) меловые конгломераты; 2) габбро; 3) роговообманково-авгитовые андезиты.

*Габбро*, по суммарному содержанию щелочей ( $Na_2O+K_2O$ ) относятся как к щелочным, так и к умереннощелочным породам [9, 10], с низкими показателями  $K_2O_{cp}=1,39\%$  (здесь и далее среднее значение дано по наименее измененным разностям) и отношения  $K_2O/Na_2O_{cp}=0,59$

(табл. 1). По петрохимическим характеристикам близки к породам толеитовой серии [9, 13], что подтверждается присутствием характерных литофильных элементов [15]. Распределение РЗЭ имеют первичный хондритовый состав, что типично для толеитов островных дуг [27, 28]. Отрицательная Rb, Th и положительная Ba, La, Sr аномалии в составе пород, характерны для базальтов надсубдукционных комплексов [29].

В целом петро-геохимические характеристики габбро не однозначны и имеют двойственность составов, по которым они близки как к континентальным [19], так и к океаническим образованиям [22]. Последнее утверждение подтверждается большинством параметров составов, по которым тела габбро близки к океаническим толеитам островных дуг [20 – 23]. По различным петро-геохимическим отношениям, для тел габбро характерна мантийная природа образования [24, 27], при незначительном участии корового материала [25, 26].

*Андезиты* по суммарному содержанию щелочей ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) относятся к умереннощелочным породам при более высоких, по сравнению с габбро, содержаниях  $\text{K}_2\text{O}_{\text{ср}} = 3,07$  и отношении  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}_{\text{ср}} = 0,85$ . По петрохимическим характеристикам отвечают высоко-калиевым андезитам или гавайтам и относятся к известково-щелочной петрохимической серии пород [9, 13, 14]. Геохимическая специализация отвечает породам латитовой серии, или латитам шошонитового типа [15]. При этом, по сравнению с габбро, наблюдается рост содержаний части литофильных элементов Sr, Ba, Cr, Zr и значительное снижение значений халькофильных Cu, Sn, Zn Pb, Ge и сидерофильных групп Ni, Co. Распределение и концентрация РЗЭ типично для пород известково-щелочных лав и шошонитов [27, 28] (линия спектров имеет отрицательный наклон при резком преобладании легких над тяжелыми элементами); концентрация РЗЭ по сравнению с габбро –  $\sum \text{РЗЭ} (28,93-41,94)$ , значительно выше –  $\sum \text{РЗЭ} (138,10-145,74)$ .

В поперечном профиле островной дуги выделяются три ассоциации вулканических пород, несколько различающихся по содержанию главных петрогенных, редких и рассеянных элементов: 1. толеиты, 2. известково-щелочные лавы, 3. шошониты (высококалиевые известково-щелочные породы) [28]. Толеиты островных дуг лишь незначительно отличаются от океанических и встречаются преимущественно на внешней стороне фронтальной дуги. Они извергаются на ранних стадиях эволюции островной дуги [28]. Толеиты островных дуг имеют первичный хондритовый состав РЗЭ; известково-щелочные лавы слагают часть фронтальной дуги, прилегающей к активным вулканам, а шошониты – зону активных вулканов. Переход между толеитами, известково-щелочными лавами и шошонитами постепенный [28]. Он выражается в росте значений  $\text{K}_2\text{O}$  – для габбро (1,39 %), андезитов (3,07 %), и  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  – для габбро (0,59), андезитов (0,85); уменьшении содержания железа, увеличении концентраций легких РЗЭ и суммы РЗЭ [28] – для габбро  $\sum \text{РЗЭ} (28,93-41,94)$ , андезитов  $\sum \text{РЗЭ} (138,10-145,74)$  (табл. 1, 3).

Присутствие таких пород как габбро и андезитов, характерно для зрелых островных дуг и активных континентальных окраин [15]. Что не противоречит имеющимся представлениям предшественников [3]. А также схожим по геологическому строению объектам, каковыми являются продуктивные на золото габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные (ГТГГ) массивы Урала и представляющие собой надсубдукционные образования на активной континентальной окраине андийского типа [30].

### **Заключение**

Таким образом, по петрографическому составу выделяются две группы пород: габбро и андезиты. Что подтверждается значениями и вариациями петрохимического состава. По геохимическим характеристикам габбро близки таковым толеитовой серии. По тем же показателям андезиты относятся к известково-щелочной петрохимической серии, латитам шошонитового типа. Присутствие таких пород как габбро и андезитов, характерно для зрелых, островных дуг и активных континентальных окраин. Что не противоречит имеющимся представлениям предшественников. А также схожим по геологическому строению объектам, каковыми являются продуктивные на золото габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные (ГТГГ) массивы Урала

и представляющие собой надсубдукционные образования на активной континентальной окраине андийского типа. Таким образом, наличие пород ГТГГ формации в пределах Половинкинской впадины служит благоприятным фактором благородно-металльных рудогенерирующих процессов.

### Литература

1. Молчанов, А. В. Золоторудные районы и узлы Алдано-Становой металлогенической провинции / А. В. Молчанов, А. В. Терехов, В. В. Шатов, О. В. Петров, К. А. Кукушкин, Д. С. Козлов, Н. В. Шатова. – Текст : непосредственный // Региональная геология и металлогения. 2017 – № 71. – С. 93–111.
2. Котов, А. Б. Граничные условия геодинамических моделей формирования континентальной коры Алданского щита: 25.00.01 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук : защищена 27.05.2003 : утверждена 05.12.2003 / Котов Александр Борисович. – Санкт-Петербург, 2003. – 79 с – Текст : непосредственный.
3. Тектоника геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / под общей редакцией Л. М. Парфенова, М. И. Кузмина ; Институт геологии алмаза и благородных металлов – Москва : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с. – Текст : непосредственный.
4. Максимов, Е. П. Геологическое строение центральной части Алданского щита / Е. П. Максимов, А. Н. Угрюмов. – Текст : непосредственный // Геология и петрология докембрия Алданского щита. – Москва : Наука, 1966. – С. 51–58.
5. Дзевановский, Ю. К. История геологического развития Алданского щита / Ю. К. Дзевановский, Е. П. Миронюк, Г. Ю.Лагздина. – Текст : непосредственный // Тектоника Сибири. Том 3. Тектоника Сибирской платформ. – Москва : Наука, 1970. – С. 132–141.
6. Кицул, В. И. Отражение тектонической структуры фундамента Алданского щита в метаморфических и минеральных фациях / В. И. Кицул, Л. М. Богомолова, В. Л. Дук [и др.]. – Текст : непосредственный // Метаморфизм горных пород Урала. – Свердловск : УНЦ АН СССР, 1979. – С. 41–46.
7. Радьков, А. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист О–52 – Томмот. Объяснительная записка. / А. В. Радьков, А. В. Молчанов, Е. В. Беленко, Д. С. Козлов [и др.] – Санкт-Петербург : Издательство СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2016. – 280 с. – Текст : непосредственный
8. Whitney, D. L. Abbreviations for names of rock-forming minerals / D. L. Whitney, B. W. Evans. – Text : unmediated // American Mineralogist. – 2010. – Volume 95. – P. 185–187.
9. Irvine, T.N. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks / T. N. J. Irvine, W. R. A. Baragar. – Text : unmediated // Canadian journal of earth sciences. – 1971. – 8 (5). – P. 523–548.
10. Le Maitre, R.W. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, 2nd edition / R.W. Le Maitre, A. Streckeisen, B. Zanettin [et al.]. – Cambridge : Cambridge University Press, 2002. – 254 p. – Text : unmediated.
11. Wilson, M. Review of igneous petrogenesis / M. Wilson. – Text : unmediated // A global tectonic approach. Terra Nov. – 1989. – 1. – P. 218–222.
12. Le Bas, M. J. A chemical classification of volcanic rocks based on the Total Alkali-Silica Diagram / M. J. Le Bas, R. W. Maitre, A. Streckeisen [et al.]. – Text : unmediated.// Journal of Petrology. – 1986. – 27. – P. 745–750.
13. Miyashiro, A. Volcanic rock series in Island Arcs and active continental margins / A. Miyashiro. – Text : unmediated // American Journal of Science. – 1974. – 274 (4). – P. 321–355.
14. Gill, J. B. Orogenic andesites and plate tectonics / J. B. Gill. – Berlin: Springer-Verlag, 1981. – 390 p. – Text : unmediated.
15. Интерпретация геохимических данных : учебное пособие / Т. В. Донская, А. В. Иванов, Д. П. Гладкочуб ; научная редакция Е. В. Скляров. – Москва : Интернет инжиниринг, 2001. – 287 с. – Текст : непосредственный.
16. Sun, S. S. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes / S. S. Sun, W. F. McDonough. – Text : electronic // Geological Society. – 1989. – v. 42. – London,

Special Publications. – p. 313–345. – URL : <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-chemicalandisotopicsystematicsofoceanicbasaltssunmcdonough1989normalisation.pdf?ysclid=m43n69cdse858298051>.

17. McDonough, W. F. Potassium, Rubidium and Cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth / W. F. McDonough, S. S. Sun, A. E. Ringwood, E. Jagoutz, A. W. Hofmann. – Text : electronic // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1992. – 56. – P. 1001–1012. – URL : [https://www.researchgate.net/publication/245539704\\_Potassium\\_rubidium\\_and\\_cesium\\_in\\_the\\_Earth\\_and\\_Moon\\_and\\_the\\_evolution\\_of\\_the\\_mantle\\_of\\_the\\_Earth](https://www.researchgate.net/publication/245539704_Potassium_rubidium_and_cesium_in_the_Earth_and_Moon_and_the_evolution_of_the_mantle_of_the_Earth)

18. Goldschmidt, V. M. *Geochemistry* / V. M. Goldschmidt. – Clarendon Press, Oxford; 1954. – Text : unmediated.

19. Pearce, T. H. The TiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts / T. H. Pearce, B. E. Gorman, T. C. Birkett. – Text : unmediated // *Earth and Planetary Science Letters*. – 1975. – Volume 24, Issue 3. – P. 419–426.

20. Pearce, R. G. Fault plane solutions using relative amplitudes of P and pP / R. G. Pearce – Text : unmediated // *Geophysical Journal International*. – 1977. – Volume 50, Issue 2. – P. 381–394.

21. Mullen, E. D. MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis / E. D. Mullen. – Text : unmediated // *Earth and Planetary Science Letters*. – 1983. – 62 (1). – P. 53–62.

22. Pearce, J. A. Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr and Y / J. A. Pearce, J. R. Cann. – Text : unmediated // *Earth and Planetary Science Letters*. – 1971. – 12 (3). – P. 339–349.

23. Maniar, P. D. Tectonic Discrimination of Granitoids / P. D. Maniar, P. M. Piccoli. – Text : unmediated // *Geological Society of America Bulletin*. – 101 (5). – P. 635–643.

24. Даценко, В. М. Петрогеохимическая типизация гранитоидов юго-западного обрамления Сибирской платформы / В. М. Даценко. – Текст : непосредственный // *Петрография на рубеже XXI века: итоги и перспективы*. – 2000. – Т. III. – С. 270–274.

25. Lightfoot, P. C. Remobilisation of the Continental Lithosphere by a Mantle Plume: Major Trace-Element, and Sr-, Nd-, and Pb-Isotopic Evidence from Picritic and Tholeiitic Lavas of the Noril'sk District, Siberian Trap, Russia / P. C. Lightfoot, C. J. Howkesworth, J. Hergt [et al] // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 1993. – 114 (2). – P. 171–188

26. Taylor, S. R. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution* / S. R. Taylor, S. M. McLennan. – USA: Blackwell Scientific Publications; 1985. – 312 p. – Text : unmediated.

27. Балашов, Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов / Ю. А. Балашов. – Москва : Наука, 1976. – 267 с. – Текст : непосредственный.

28. Швеллер, У. Дж. Островные дуги / У. Дж. Швеллер. – Текст : непосредственный // *Структурная геология и тектоника плит*. – 1991. Т.2. – С. 165–176.

29. Rollinson, H. *Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation* / H. Rollinson. – London : Longman Scientific & Technical, 1993. – 379 p. – Text : unmediated.

30. Ферштатер, Г. Б. Золотоносные габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные массивы Урала: возраст, геохимия, особенности магматической и рудной эволюции / Г. Б. Ферштатер, В. В. Холоднов, А. А. Кременецкий [и др.]. – Текст : непосредственный // *Геология рудных месторождений*. – 2010. – 52 (1). – С. 65–84.

## References

1. Molchanov AV, Terekhova V, Shatov V, Petrov OV, Kukushkin KA, Kozlov DS, Shatov NV. Gold mining areas and nodes of the Aldan-Stanovoy metallogenic province. *Regional geology and metallogeny*. 2017;2:93–111. (in Russian)

2. Kotov AB. Boundary conditions of geodynamic models of the formation of the continental crust of the Aldan shield. Summary of Doctoral dissertation (Geology). St. Petersburg, 2003. (in Russian)

3. Parfenov LM, Kuzmin MI. Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). Moscow: MAIK Nauka/Interperiodics, 2001:571. (in Russian)

4. Maksimov EP., Ugryumova N. The geological structure of the central part of the Aldan shield. *Geology and petrology of the Precambrian of the Aldan shield*. 1966:51–58. (in Russian)
5. Dzevanovsky YuK, Mironyuk EP, Lagzdina GYu. The tectonics of Siberia. Volume 3. *Tectonics of the Siberian platform. The history of the geological development of the Aldan shield*. Moscow: Nauka; 1970:132–141. (in Russian)
6. Kitsul VI, Bogomolova LM, Duk VL, et al. Reflection of the tectonic structure of the foundation of the Aldan shield in metamorphic and mineral facies. *Metamorphism of the rocks of the Urals*, 1979:41–46. (in Russian)
7. Radkova V, Molchanova V, Belenko EV, et al. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). The Aldano-Zabaikalskaya series. Sheet O–52 – Tommot (Explanatory note). St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg kartfabriki VSEGEI; 2016:280. (in Russian)
8. Whitney DL, Evans BW. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am. Mineral.* 2010;95(1):185–187.
9. Irvine TN, Baragar WRA. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 1971;8:523–548.
10. Le Maitre RW, Streckeisen A, Zanettin B, Le Bas M.J, Bonin B, Bateman P. (Eds.) *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms*, 2nd ed.; Cambridge University Press: Cambridge, UK; 2002:254.
11. Wilson M. Review of igneous petrogenesis: Aglobal tectonic approach. *Terra Nov.* 1989;1:218–222.
12. Le Bas MJ, Le Maitre RW, Streckeisen A, Zanettin B. A chemical classification of volcanic rocks based on the Total Alkali-Silica Diagram. *J. Petrol.* 1986;27:745–750.
13. Miyashiro A. Volcanic rock series in Island Arcs and active continental margins. *Am. J. Sci.*, 1974;274:321–355.
14. Gill JB. *Orogenic andesites and plate tectonics*. Springer Verlag, Berlin; 1981:390.
15. Sklyarov EV, Gladkochub DP. Interpretation of geochemical data. Moscow: Internet Engineering; 2001:287. (in Russian)
16. Sun SS, McDonough WF. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 1989; 42:313–345.
17. McDonough WF, Sun SS, Ringwood AE, Jagoutz E, Hofmann AW. Potassium, Rubidium and Cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1992;56:1001–1012.
18. Goldschmidt VM. *Geochemistry*. Clarendon Press, Oxford; 1954.
19. Pearce TH, Gorman BE, Birkett TC. The TiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1975;24:419–426.
20. Pearce RG. Fault plane solutions using relative amplitudes of P and pP. *Geophys. J. R. astr. Soc.* 1977;50:381–394.
21. Mullen ED. MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1983;62(1):53–62.
22. Pearce JA, Cann JR. Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr and Y. *Earth and Planetary Science Letters*. 1971;12(3):339–349.
23. Maniar PD, Piccoli PM. Tectonic Discrimination of Granitoids. *Geol. Soc. Am. Bull.* 1989;101:635–643.
24. Dotsenko VM. Petrogeochemical typification of granitoids of the southwestern framing of the Siberian platform. *Petrography at the turn of the XXI century: results and prospects*. Vol. III. 2000:270-274. (in Russian)
25. Lightfoot PC, Howkesworth CJ, Hergt J, et al. Remobilisation of the Continental Lithosphere by a Mantle Plume: Major Trace-Element, and Sr-, Nd-, and Pb-Isotopic Evidence from Picritic and Tholeiitic Lavas of the Noril'sk District, Siberian Trap, Russia. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1993;114:171–188.
26. Taylor SR, McLennan SM. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Oxford, MS, USA: Blackwell Scientific Publications; 1985.
27. Balashov YU. *Geochemistry of rare earth elements*. Moscow: Nauka; 1976:267.
28. Shveller UDzh. Island arcs. *Structural Geology and Plate tectonics*. Vol. 2. 1991:165-176. (in Russian)
29. Rollinson H. *Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation*. London: Longman Scientific & Technical; 1993:379.

30. Fershtater GB, Kholodnov VV, Kremenetsky A, Krasnobaev A, Borodina NS, Zenkova EA, Pribilkin SV. Gold-bearing gabbro-tonalite-granodiorite-granite massifs of the Urals: age, geochemistry, features of magmatic and ore evolution. *Geology of ore deposits*. 2010;52(1):65–84. (in Russian)

#### Сведения об авторах

*ИВАНОВ Алексей Иванович* – к.г.-м.н., с.н.с., ИГАБМ СО РАН, Researcher ID: JBR-7954-2023, Scopus Author ID: 57674640500, РИНЦ Author ID: 176449, <https://orcid.org/0000-0002-5485-3127>. E-mail: [aiivanov@diamond.ysn.ru](mailto:aiivanov@diamond.ysn.ru)

*IVANOV Alexey I.* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Researcher ID: JBR-7954-2023, Scopus Author ID: 57674640500, RSCI Author ID: 176449, <https://orcid.org/0000-0002-5485-3127>

*ЛОСКУТОВ Евгений Евгеньевич* – к.г.-м.н., с.н.с., ИГАБМ СО РАН. Researcher ID: ААО-4823-2021. Scopus Author ID: 57205150102. РИНЦ Author ID: 729281. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7491-1067>. E-mail: [Loskutov@diamond.ysn.ru](mailto:Loskutov@diamond.ysn.ru)

*LOSKUTOV Evgeniy E.* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS. Researcher ID: ААО-4823-2021. Scopus Author ID: 57205150102. RSCI Author ID: 729281. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7491-1067>

*ЖУРАВЛЕВ Анатолий Иванович* – м.н.с., ИГАБМ СО РАН. Researcher ID: AAC-6095-2019, Scopus Author ID: 57200217371, РИНЦ Author ID: 857832, <https://orcid.org/0000-0003-0115-5146>. E-mail: [ai.zhuravlevgeo@gmail.com](mailto:ai.zhuravlevgeo@gmail.com)

*ZHURAVLEV Anatolii I.* – Junior Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS. Researcher ID: AAC-6095-2019, Scopus Author ID: 57200217371, RINC Author ID: 857832, <https://orcid.org/0000-0003-0115-5146>

*ИВАНОВ Мичил Спартакович* – м.н.с., ИГАБМ СО РАН. Research ID: AAL-7447-2021, Scopus Author ID: 57212410522, РИНЦ Author ID: 1050170 <https://orcid.org/0000-0002-0204-1653>. E-mail: [ivanov.michil@bk.ru](mailto:ivanov.michil@bk.ru)

*IVANOV Michil S.* – Junior Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS. Research ID: AAL-7447-2021, Scopus Author ID: 57212410522, RSCI Author ID: 1050170 <https://orcid.org/0000-0002-0204-1653>, e-mail: [ivanov.michil@bk.ru](mailto:ivanov.michil@bk.ru)

*КРАВЧЕНКО Александр Александрович* – к.г.-м.н., с.н.с., ИГАБМ СО РАН. Scopus Author ID: 15750892800, РИНЦ Author ID: 152465 <https://orcid.org/0000-0001-9767-6610>. E-mail: [freshrock@yandex.ru](mailto:freshrock@yandex.ru)

*KRAVCHENKO Alexander A.* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS. Scopus Author ID: 15750892800, РИНЦ Author ID: 152465 <https://orcid.org/0000-0001-9767-6610>

*А.В. Погодаев<sup>1,2</sup>, Р.Ф. Севостьянова<sup>1</sup>, М.И. Слепцова<sup>1</sup> ✉, А.М. Жарков<sup>3</sup>, К.А. Павлова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Якутский научный центр СО РАН Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск, Россия

<sup>2</sup> АО «Туймааданефтегаз», г. Якутск, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

✉ msleptsova@mail.ru

## ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНОГО ОБРАМЛЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ПО МАТЕРИАЛАМ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ ПОСЛЕДНИХ ЛЕТ

**Аннотация.** В результате тщательного анализа геолого-геофизических материалов и глубокого бурения установлено, что наиболее перспективные зоны для открытия новых залежей нефти и газа локализованы в северной и центральной частях Предверхоанского прогиба, а также на юго-востоке Сибирской платформы вдоль Алдано-Майского прогиба. Высокое содержание растворенного газа в пластовых водах продуктивных слоёв указывает на масштабные процессы газообразования и активную вертикальную и горизонтальную миграцию, что способствует созданию благоприятной среды для формирования залежей газа. Особое внимание привлекают юрские отложения, которые образуются благодаря вторичному захвату газовых потоков при интенсивном вертикальном и латеральном движении флюидов. Коллекторами выступают песчаноглинистые пермские отложения под глиняной толщей неджелинской свиты нижнего триаса. Большинство разведанных запасов газа ассоциируются с крупными, высокоамплитудными валообразными поднятиями. Современное геологическое строение и высокий гидродинамический потенциал региона определяют оптимальные условия для миграции углеводородов. Первоочередными объектами в центральной части Предверхоанского прогиба и смежных территорий Вилуйской синеклизы предлагается обозначить Китчанскую, Якутскую и Мунскую зоны ожидаемого нефтегазонакопления. В статье рассмотрены перспективы нефтегазонаосности Алдано-Майского прогиба. Здесь погребенные формы рельефа играют ключевую роль в геологическом строении района и определяют перспективы генерации и миграции углеводородов. Промышленная значимость залежей, содержащихся в рифейских отложениях подтверждена на сопредельных территориях, в частности в пределах Березовской впадины.

**Ключевые слова:** Предверхоанский прогиб, Алдано-Майский прогиб, сейсморазведка, параметрическое бурение, скважина, нефтегазонаосность, пермо-триасовый нефтегазонаосный комплекс.

**Для цитирования:** Погодаев А.В., Севостьянова Р.Ф., Слепцова М.И., А.М. Жарков, Павлова К.А. Перспективы нефтегазонаосных территорий восточного обрамления Сибирской платформы по материалам геологоразведочных работ последних лет. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 33–48. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-33-48

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № 122011100158-2.

*A.V. Pogodaev<sup>1,2</sup>, R.F. Sevostianova<sup>1</sup>, M.I. Sleptsova<sup>1</sup> \*, A.M. Zharkov<sup>3</sup>,  
K.A. Pavlova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakut Scientific Center SB RAS, Yakutsk, Russian Federation

<sup>2</sup> JSC Tuymaadaneftegaz, Yakutsk, Russian Federation

<sup>3</sup> Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

✉ msleptsova@mail.ru

## OIL AND GAS PERSPECTIVE OF THE EASTERN BORDER OF THE SIBERIAN PLATFORM BASED ON RECENT EXPLORATION DATA

**Abstract.** As a result of a thorough analysis of geophysics data and deep drilling, it was established that the most likely zones for the discovery of new oil and gas reserves are localized in the north and center of

the Pre-Verkhoyansk trough, as well as in the southeastern part of the Siberian platform along the Aldan-Maya trough. The high content of hydrocarbons in the formation waters of productive layers indicates large-scale processes of gas formation and active vertical and horizontal migration, which contributes to the creation of a favorable environment for the formation of free gas. Particular attention is drawn to deposits in Jurassic deposits, formed due to the secondary capture of gas flows during intense vertical and inter-reservoir movement. The key reservoirs for future discoveries are the sandy-clayey Permian deposits under the clayey strata of the Lower Triassic Nedzhelin Formation. Most proven gas reserves are associated with large, high-amplitude swell-like uplifts. Modern geological structures and the hydrodynamic potential of the region determine optimal conditions for the migration of hydrocarbons. It is proposed to designate the Kitchanskaya, Yakutskaya and Munskeya zones of expected oil and gas accumulation as priority objects in the central part of the Pre-Verkhoyansk trough and adjacent territories of the Vilyui syncline. The article examines the oil and gas potential prospects of the Aldan-Maya trough. Here, buried landforms play a key role in geological structures and determine the prospects for the generation and migration routes of hydrocarbons, in the structure of lithological-stratigraphic traps. The industrial significance of deposits contained in Riphean sediments has been confirmed in adjacent territories, in particular within the Berezovskaya depression.

**Keywords:** Pre-Verkhoyansk trough, Aldan-Maya trough, seismic exploration, parametric drilling, well, oil and gas potential, Permo-Triassic oil and gas complex

**For citation:** Pogodaev A.V., Sevostianova R.F., Sleptsova M.I., Zharkov A.M., Pavlova K.A. Oil and gas perspective of the eastern border of the Siberian platform based on recent exploration data. *Vestnik of NEFU. Earth Sciences*. 2024, № . 4. Pp. 33–48. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-33-48

**Financing:** The work was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 122011100158-2.

## Введение

Интенсивное развитие геологоразведочных работ на Сибирской платформе в последние два десятилетия за счет средств Федерального и регионального бюджетов, а также инвестиционных программ недропользователей в слабоизученных территориях Восточной Сибири и Дальнего Востока направлено на укрепление минерально-сырьевой базы нефтегазовых проектов Республики Саха (Якутия).

Исследования по тектоническому районированию восточных районов Сибирской платформы позволяют сделать вывод о закономерной приуроченности выявленных и предполагаемых зон нефтегазоаккумуляции в палеоплане к зонам перехода от депрессионных к приподнятым областям, а также, соответственно к склону и бортам крупных поднятий и впадин [1].

Актуальность научных исследований заключается в комплексном решении задач повышения эффективности планируемых и выполняемых геологоразведочных работ на нефть и газ для континентальных территорий Якутии в сложных горно-геологических условиях, как на этапе прогноза, так и на стадии поисков, разведки и освоения нефтегазовых месторождений.

## Материалы и методы исследования

В основу нефтегазогеологического районирования Сибирской платформы заложены крупнейшие структуры платформенного чехла, различающиеся набором формационных комплексов и особенностями структурно-тектонического развития. История геологического развития периферийных областей в составе верхнепалеозой-мезозойского седиментационного бассейна и более древних отложений Сибирской платформы позволяют с полным основанием рассматривать их в качестве благоприятной территории с необходимыми условиями, определяющими формирование региональных зон потенциального нефтегазоаккумуляции на площадях вдоль северо-восточной границы Сибирской платформы [2].

В современном представлении пассивная окраина Сибирской платформы рассматривается в редуцированных размерах и деформированном виде, осложненная складчато-сдвиговыми и дизъюнктивными процессами постпалеозойского тектогенеза [3]. Вдоль фронта мезозойских складчатых комплексов, формирующих выпуклую дугу на юго-западе, размещена

Восточно-Сибирская система впадин, представленная палеозойскими и мезозойскими отложениями. Западные и южные границы определяются склонами Алданской и Анабарской антеклиз. Система включает Предверхоанский предгорный прогиб и две перпендикулярные ему отрицательные структуры: Вилуйскую, находящуюся напротив изгиба Верхоянской дуги складчатой горной системы или внутреннего угла Верхоянской геосинклинальной структуры, и Лаптевскую, южная часть которой соответствует Анабаро-Ленскому прогибу [4].

Предверхоанский прогиб располагается параллельно надвиговому фронту Верхоянья, протягивающемуся от дельты Лены на юг сначала почти меридионально, но затем, близ устья Алдана, поворачивающему к востоку-юго-востоку и далее, вдоль правобережья Алдана, снова на юг в направлении Охотского моря. Но сам прогиб выклинивается в начале этого нового поворота и южное краевое поднятие Верхоянья – хр. Сетте-Дабан, непосредственно надвинуто на Алданский щит Сибирского кратона. Юго-восточным звеном системы краевых прогибов является Алдано-Майская впадина (прогиб). Наиболее широкая и глубокая часть Предверхоанского прогиба приурочена к центральной области, где он сливается с Вилуйской синеклизой, отрицательной структурой платформы, раскрывающейся и углубляющейся в восточном направлении (рис. 1).

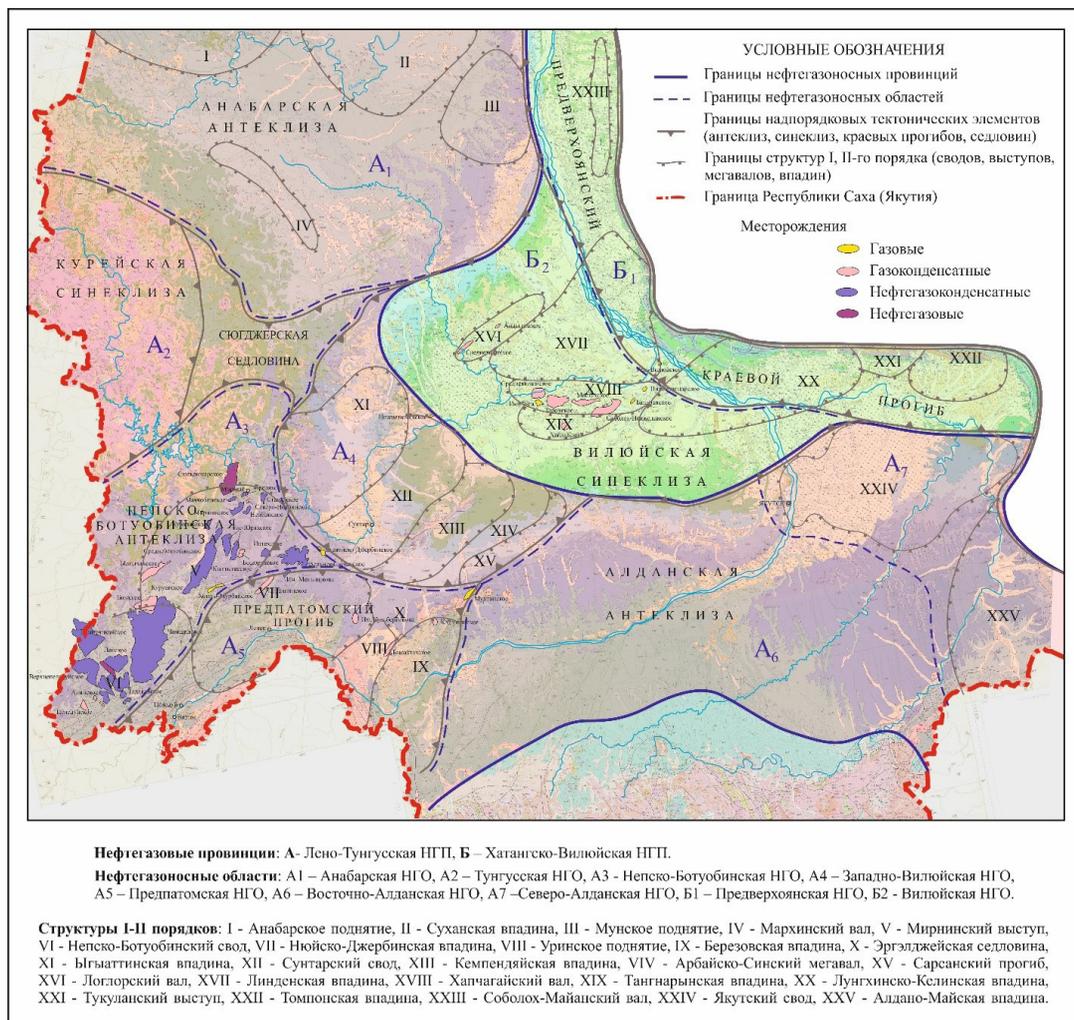


Рис. 1. Обзорная схема района исследования

Figure 1. Overview of the study region

Прогиб, как и все подобные структуры, построен асимметрично, с полого моноклиналильным платформенным и осложненным надвигами противоположным крылом. Положительная оценка перспектив нефтегазоносности Восточной Якутии, выполненная К.Б. Мокшанцевым и Н.В. Черским более полувека назад остается актуальной по настоящее время. С учетом важнейшей роли краевых, предгорных прогибов в процессе генерации и локализации углеводородов, правомерно считать, что с перикратонными депрессиями должны быть связаны основные перспективы обнаружения скоплений нефти и газа на восточной периферии Сибирской платформы, что подтверждают, в частности, современные исследования ФГБУ «ВНИГНИ» [5,6].

Качественные и количественные оценки перспектив нефтегазоносности многих сложнопостроенных и недостаточно изученных регионов Восточной Сибири не являются безусловно однозначными и по целому ряду показателей могут носить вероятностный характер научного прогноза. На начальных этапах геологического изучения территории Якутии ввиду многочисленности поверхностных нефте- и битумопроявлений, как наиболее перспективные, рассматривались также обширные районы Анабарской и Алданской антеклиз. К малоперспективным или к землям с неясными перспективами относилась, в частности, Вилюйская синеклиза. Практика геологоразведочных работ в дальнейшем существенным образом дополнила эти первоначальные представления. В Вилюйской синеклизе уже первыми поисковыми скважинами в отложениях верхнего палеозоя и мезозоя были открыты крупные газоконденсатные месторождения, которые уже более полувека составляют основу газовой промышленности республики [7].

Безусловно, что одной из важнейших предпосылок при региональной оценке нефтегазоносности слабоизученных территорий осадочных бассейнов на начальной стадии поисков являются прямые проявления углеводородных газов, нефти и природных битумов на поверхности. Целый ряд крупных месторождений нефти и даже провинций были установлены в результате успешного бурения вблизи поверхностных нефтепроявлений.

Отсутствие открытий месторождений и залежей традиционного вида на территории исследования, при многочисленных проявлениях водорастворенных углеводородных газов, нефти и мест масштабного скопления природных битумов указывают на назревшую необходимость всестороннего научного анализа тектонических, гидрогеологических и геохимических показателей, определяющих успешность геологоразведочных работ на углеводородное сырье и эффективность освоения ресурсной базы северных территорий [8].

Не всегда верно прямолинейно связывать неопределенность поисковых результатов с ограниченным масштабом проводимого комплекса геолого-геофизических работ. На каждом этапе следует последовательно уточнять характерные черты и причинно-следственные связи процессов, влияющих на достоверность прогноза предполагаемого нахождения локальных зон нефтегазонакопления [9]. Нефтегазоносность необходимо рассматривать как свойство осадочного бассейна, его функциональное состояние в качестве природного резервуара для нефти и газа, проявляющееся на определенном этапе развития процесса [4].

#### ***Современное состояние изученности и открытий.***

В 1956 г. было открыто первое газоконденсатное месторождение в Якутии – Усть-Вилюйское (Предверхоанский прогиб) в структуре, которая была подготовлена сейсморазведкой МОВ в комплексе с колонковым бурением. К северу от него уже в 1961 г. было выявлено Собо-Хаинское месторождение газа. Одновременно с указанным направлением, геологоразведочные работы были развернуты в Вилюйской синеклизе, в пределах Хапчагайского мегавала, которые привели к открытию нескольких газоконденсатных месторождений: Бадаранское (1962 г.), Неджелинское (1963 г.), Средневилюйское (1963 г.) и др. В 1976 году в пределах Малыкай-Логлорской структурной зоны северо-западного борта Вилюйской синеклизы (Тюнгский нефтегазоносный район, НГР) было открыто крупное Среднетюнгское месторождение. В настоящее время, к сожалению, эффективность поисково-разведочных работ на территории Вилюйской синеклизы существенно снизилась.

В 2013 году в ИПНГ СО РАН (г. Якутск) по методу геологических аналогий выполнена предварительная оценка прогнозных геологических ресурсов, в основу которой были заложены результаты исследований и новые научные представления о современном строении слабоизученных территорий. Прогнозные геологические ресурсы по Вилюйской НГО в варианте по авторам составили 5 448 млн.т. УУВ [9,10].

Необходимо отметить, что опорное, параметрическое и поисковое бурение также выполнялось как в центральной, так и периферийных частях Предверхооянского прогиба. Информация о строении, составе осадочного чехла получена на материалах скважин глубокого бурения и интерпретации геофизических материалов [11,12]. К основным наиболее распространенным и перспективным относятся рифейский, вендско-нижнепалеозойский и верхнепалеозой-мезозойский комплексы.

Рифейские и вендско-нижнепалеозойские отложения достаточно широко распространены на севере и северо-востоке Сибирской платформы, а также в Алдано-Майском прогибе, где они изучены главным образом в разрезах естественных обнажений и по материалам глубокого бурения единичных скважин. Промышленная значимость залежей, содержащихся в рифейских отложениях подтверждена на сопредельных территориях, в частности в пределах Березовской впадины. Здесь в интервале торгинской свиты рифея установлена газоконденсатная залежь на Бысахтахском ГКМ.

Отложения верхнепалеозой-мезозойского комплекса территориально преобладают и присутствуют практически повсеместно в пределах Вилюйской синеклизы и Предверхооянского прогиба. Здесь они вскрыты скважинами глубокого бурения в северной части Анабаро-Ленской ветви, в центральной области и в Алданской ветви прогиба (Ивановская скв.). Пермо-триасовый интервал осадочного комплекса содержит основные газовые и газоконденсатные залежи в пределах Вилюйской синеклизы и Предверхооянского прогиба. Промышленные и полупромышленные залежи нефти установлены на Южно-Тигянской площади Анабаро-Хатангской седловины. По результатам сейсморазведочных работы МОГТ-2Д, в пределах Западно-Анабарского лицензионного участка уточнено строение Южно-Тигянского месторождения.

Наибольший объем поискового и разведочного бурения (свыше 300 скважин) был выполнен в пределах Вилюйской НГО. Одновременно с открытием газовых залежей, установлены достаточно высокие уровни газонасыщенности пластовых вод мезозойских и верхнепалеозойских отложений углеводородным газом, преимущественно метаном. Даже приближенные оценки свидетельствуют о существенном преобладании объемов водорастворенного газа относительно суммарных запасов свободного газа открытых месторождений [13].

Условия размещения и сохранности залежей нефти и газа зависят от сложной совокупности многих природных факторов, каждый из которых по своему значению так или иначе участвует в динамичном процессе первичного формирования или переформирования залежей, ключевую роль здесь могут играть гидродинамические условия пластовых систем [14].

Наличие больших концентраций углеводородных газов в пластовых водах продуктивных комплексов свидетельствует об уровне современного масштаба газообразования, в широком развитии процессов вертикальной и латеральной миграции, что в итоге является благоприятным фактором, способствующим формированию залежей свободного газа в ловушках с необходимыми структурными условиями [13].

Образование толщи многолетнемерзлых горных пород (ММГП) с функциями мерзлотно-го изолирующего экрана приостановило и ограничило процесс рассеивания газа в атмосферу. Весь разрез осадочного чехла становится газоаккумулирующим, происходит естественная концентрация свободного газа в отложениях ниже подошвы мерзлоты. Примерами возможного образования относительно крупных скоплений свидетельствуют установленные газопроявления в виде устойчивых дебитов скважин, полученных из приповерхностных подмерзлотных отложений мела, юры, а именно в Вилюйской синеклизе: на Мастахском, Бадаранском,

Средневиллойском месторождениях, а также проявления в Виллойской опорной скважине; Предверхоанский прогиб: приток газа с водой с глубины 500 м в гидрогеологической скважине у с. Богоронцы, газопроявления при бурении на Усть-Виллойской, Сангарской, Бергеинской, Хандыгской площадях; Лено-Анабарский прогиб: на Улахан-Юрхской площади в процессе бурения колонковой скважины 308 произошел выброс воды при забое 519 м. Дебит составил около  $600 \text{ м}^3 / \text{сут.}$  Воды хлоркальциевого типа с минерализацией  $11,1 \text{ г/см}^3$ . Самоизлив вод из скважины обусловлен их газонасыщенностью.

***Закономерности размещения и сохранности установленных залежей. Методические подходы к прогнозу, поискам и разведке месторождений новых территорий***

Как показывает анализ истории нефтегазообразования и нефтегазонакопления, условия для латеральной миграции и аккумуляции УВ на востоке Сибирской платформы были весьма благоприятными. УВ мигрировали далеко в глубь территории, пример тому Мунское нефтепроявление в нижнеюрских базальных песчаниках на юго-западном склоне Мунского поднятия [15]. На это также указывают пермские нефтидопроявления в низовьях р. Лены (Туорасисский выступ). Регионально прослеживаемую битумонасыщенность базальных пермских песчаников на площади  $140 \times 20 \text{ км}$  следует рассматривать как вещественные следы миграции углеводородных флюидов из шельфовой зоны на платформу, в том числе и на Оленекское поднятие на перикратонном этапе развития описываемой территории.

***Виллойская НГО, Хапчагайский газонасыщенный район.*** В хорошо изученном бурением разрезе верхнего палеозоя и мезозоя Виллойской синеклизы выделяются пермо-триасовый, нижнетриасовый, и нижнеюрский нефтегазоносные комплексы.

Нижнетриасовые отложения (таганджинский резервуар) суммарно содержат основной объем всех установленных промышленных запасов углеводородов Виллойской НГО. В пределах Логлорской антиклинальной зоны, залежь Среднетюнгского месторождения в отложениях нижнего триаса имеет максимальную высоту 250 м и заполняет антиклинальную ловушку под замком, положение ГВК горизонтальное, с отметкой -2626 м. Перечисленное свидетельствует о равновесном состоянии систем нефтегазонакопления и исключительных изолирующих свойствах мономской глинистой покрышки, которая в сравнении с Хапчагайским районом (толщина 130 м) возрастает в мощности до 230 м. Площадь залежи  $80 \text{ км}^2$ . Пластовое давление близко к гидростатическому и равно  $27,54 \text{ МПа}$ , пластовая температура  $60^\circ\text{C}$  [7].

Газоносность нижнеюрского комплекса находится в зависимости от качества экранирующих свойств мономской глинистой толщи. Залежи образуются при вторичном улавливании газовых потоков в процессе активной вертикальной, межрезервуарной миграции за счет перемещения залежей нижнетриасового комплекса.

Наиболее качественным резервуаром, благодаря высоким изолирующим свойствам перекрывающей 80-100 метровой глинистой толщи неджелинской свиты нижнего триаса, считаются песчано-глинистые пермские отложения [16]. Для залежей верхнепермского продуктивного комплекса Хапчагайского вала характерной отличительной чертой является наличие аномально-высоких пластовых давлений (АВПД) с коэффициентом аномальности до 1,4. Положение контактов здесь наклонное, градиент наклона от 7 до 20 м на км. Равновесное состояние всячих залежей с в положении с наклонным ГВК обеспечивается высоким латеральным градиентом динамического напора.

Стоит отметить, что современные проявления элизионного гидродинамического режима способствуют процессам латеральной миграции УВ-флюидов. Минерализация вод возрастает с глубиной, в триасовом комплексе она составляет от 34 г/л до 43 г/л, в пермском до 70-100 г/л. [7]. Воды практически бессульфатны, в них отмечено содержание брома, йода, аммония, нефтяных кислот и большого количества растворенных газов. Четкая ступенчатая дифференциация гидрогеологического разреза по солевому составу, величинам пластового давления на границах

изолирующих толщ, характеру газовой зональности указывает на наличие благоприятных условий для формирования крупных зон нефтегазонакопления.

В условиях Вилюйской синеклизы вполне очевидна приуроченность практически всех разведанных запасов газа промышленных категорий к крупным высокоамплитудным валообразным поднятиям: к Малькай-Логлорской структурной зоне, Хапчагайскому мегавалу и Китчанскому выступу, расположенным по бортам и периферии Линденской впадины [13]. При этом суммарный объем запасов открытых месторождений, прежде всего установленный в пермских залежах Хапчагайского мегавала (неджелинский резервуар), по итогам разведки оказался существенно меньше первоначальной количественной оценки. Производным следствием наклонных контактов (ГВК), сместившихся под действием латерального градиента, стало изменение полезного объема ловушки в меньшую сторону относительно первоначального горизонтального положения ГВК, и проявилось в снижении коэффициента заполнения газом пермской структурной ловушки. Предполагается, что фактор напряженного состояния гидродинамической системы вмещающего пермско-триасового комплекса при высоком градиенте латерального напора, как ключевая причина, оказал негативное влияние на благоприятные структурные условия сохранности массивной газовой залежи, контролируемой общим контуром Хапчагайского мегавала, что привело к смещению и переформированию залежи [13].

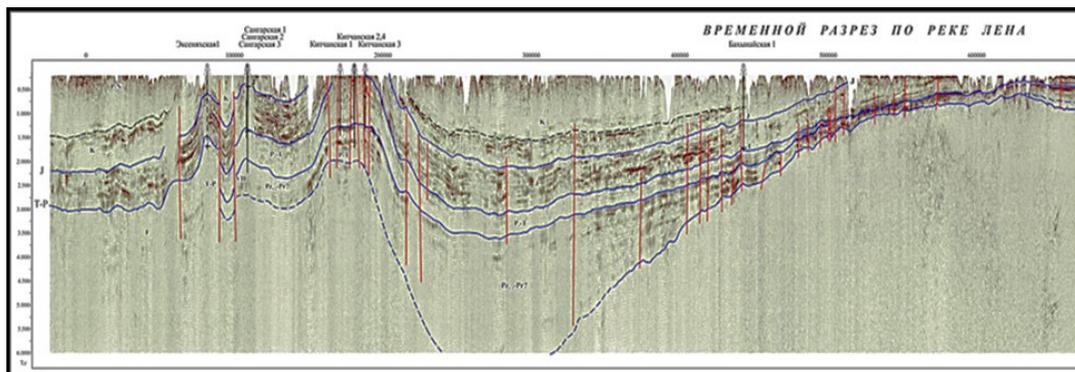
**Гидродинамические закономерности Предверхоаянского прогиба. Усть-Вилюйский гидрогеологический район.** На Усть-Вилюйской структуре промышленная газоносность установлена в юрских отложениях нижнего и среднего лейаса (горизонты  $J_1-1$ ,  $J_1-II$  и  $J_1-III$ ). Залежь продуктивного горизонта  $J_1-III$  залегает на глубине 1940-2030 м. Залежь пластовая сводовая, высотой 43 м. Дебиты газа до 2 млн. м<sup>3</sup>/сут. Содержание конденсата до 25 г/см<sup>3</sup>. Пластовое давление 19,9 МПа, пластовая температура +58°C [7]. На месторождении было пробурено 27 скважин, в том числе 20 разведочных и 7 эксплуатационных, общим метражом 106 тыс. пог. м. На Собо-Хаинском газовом месторождении пробурено 8 разведочных скважин общим метражом 13958 м.

Структурные планы данной территории, уточнены в полевой сезон 2014-2016 гг. по материалам региональных комплексных работ в акватории реки Лена, речной профиль (Гос. рег. № 98-17-1347, АО «Росгеология», 2018) [17].

По результатам совместной интерпретации сейсмических профилей восточного обрамления Сибирской платформы и профиля р. Лена удалось значительно уточнить строение Китчанского выступа и смежных структур. [18]. В пределах Мунского свода и Китчанского надвига подстилающие меловой сейсмокомплекс юрские отложения выходят на дневную поверхность (рис. 2). Отложения перми и триаса на территории исследования вскрыты редкими скважинами в ограниченном объеме, залегают достаточно глубоко и оцениваются как интервалы наиболее перспективной части разреза Предверхоаянского прогиба.

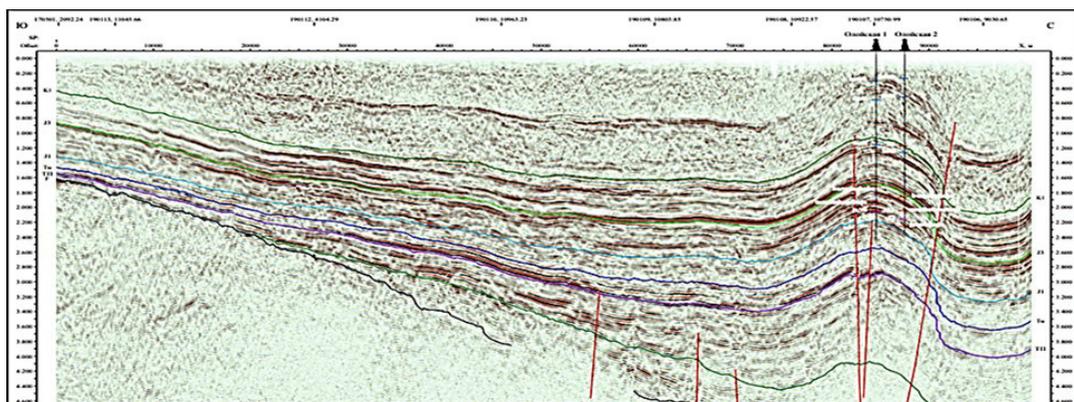
Структурный план восточной части Вилюйской гемисинеклизы в зоне ее сочленения с Предверхоаянским краевым прогибом, во многом повторяет структурный план по кровле кристаллического фундамента. Большое значение для сохранения перспектив пермских отложений имеет присутствие в нижнем триасе чачек глинистых пород в составе индского и оленекского ярусов. Эти отложения играют роль регионального флюидоупора [19].

Отдельное положение в группе структур Усть-Вилюйского района занимают Бергеинская и Олойская структуры, осложняющие Берге-Олойский вал в зоне сочленения Вилюйской синеклизы и Предверхоаянского прогиба. Здесь скважинами поискового бурения до глубины 3980 м исследованы песчано-глинистые угленосные отложения мела и верхней юры (рисунок 3). Пермотриасовые отложения не вскрыты. Отметка глубины горизонта ТП по новым данным сейсморазведки и структурным построениям в своде складки составляет -5600 м, (граница триас-пермь).



**Рис. 2.** Фрагмент сейсмического разреза по профилю р. Лена, направление с юга на север вдоль Предверхоянского прогиба, Центральной части, пограничная с Вилуйской синеклизой (Эксеняхская и Сангарская структуры, Китчанский выступ, Линденская впадина, Мунский свод). Временной интервал 6 сек. Протяженность фрагмента 650 км. от устья р. Алдан, пос. Батамай до пос. Жиганск [17]

**Figure 2.** A fragment of a seismic section along the Lena River, profile is directed from south to north along the Pre-Verkhoyansk trough, the central part bordering the Vilyui syncline (Eksenyakh and Sangar structures, Kitchan ledge, Linden depression, Munskiy arch). The time interval is 6 seconds. The length of the fragment is 650 km. from the mouth of the Aldan river, Batamai to Zhigansk [17]



**Рис. 3.** Фрагмент временного разреза 190120. Направление с юга на север. (Бес-Кюельская моноклираль, Лунгхино-Келинский прогиб, Берге-Олойский вал, Олойская антиклинальная структура). Отметка в своде складки горизонта ТП – 2,9 сек, (триас-пермь). Протяженность профиля 100 км, временной интервал 4,6 сек (Намская площадь, ФГБУ «ВНИГНИ», 2022, гос.рег. № 643-21-1108)

**Fig.3.** A fragment of the time section 190120. The direction is from south to north. (Bes-Kuel monocline, Lunkhino-Kelin trough, Berge-Oloy shaft, Oloy anticline structure). The mark in the arch of the fold of the horizon TP is 2.9 seconds, (Triassic-Perm). The length of the profile is 100 km, the time interval is 4,6 seconds {Nam Area, Federal State Budgetary Institution “VNIGNI”, 2022, state registration. No. 643-21-1108}

В гидрогеологическом разрезе Усть-Вилуйского района выделяются две обособленные гидродинамические зоны. Площади Китчанской, Сангарской и, вероятно, Эксеняхской структур являются областью транзита с интенсивно промытой верхней частью разреза. Пластовые температуры понижены. Для поиска УВ эти отложения бесперспективны.

В нижнюю гидродинамическую зону входит триас-нижнеюрский водоносный комплекс, изолированный сверху региональным флюидоупором аргиллитов сунтарской свиты верхнего лейаса. Здесь преобладает упругий гидродинамический режим, обусловленный особенностями литогенеза, тектоническими движениями и внутрислоевыми перетоками глубинных

флюидов. В целом, пластовые давления в водоносных горизонтах на 5-7 % выше условного гидростатического давления ( $R_{пл}/P_{уг}=1,05\div 1,07$ ) – скважины нередко переливали.

В рамках структурного подхода, являющимся главенствующим в теории нефтегазонакопления, на площади Предверхоанского прогиба поисковыми объектами исследования первой очереди могут быть обозначены, прежде всего, Берге-Олойский вал и зона Китчанских поднятий. Особенностью вскрытого разреза на Бергеинской и Олойской структурах выступают повышенные газопоказания и газопроявления, наблюдавшиеся в процессе бурения скважин на глубинах более -2900 м. В составе метанового газа были установлены уникальные содержания тяжелых углеводородов (до 20 %). Газонасыщенность рассолов и выходы газа могут свидетельствовать о наличии крупных залежей в отложениях пермо-триасового комплекса на глубинах более -6000 метров.

**Алдано-Майский прогиб (АМП).** Территория относится к районам с неустановленными перспективами нефтегазонакопления, в то же время, наряду с Предверхоанским прогибом и Вилуйской синеклизой, является составной частью краевого структурного обрамления восточной окраины Сибирской платформы и обладает практически всеми необходимыми геологическими предпосылками для положительной оценки нефтегазонакопления рифей-нижнепалеозойских отложений, что также подтверждается геолого-геохимическими материалами последних лет [20].

Особенность очагов генерации окраинных зон заключается в том, что они обособлены относительно друг друга, и характеризуются существенными отличиями в стратиграфическом диапазоне нефтегазоперспективных комплексов. В данном случае речь идет о двух, в этом смысле самостоятельных территориях, разделяемых Якутским сводовым поднятием: Вилуйской НГО и Алдано-Майской НГО. Их общей чертой является наличие мощной толщи осадочного чехла с обширной площадью моноклинального залегания перспективных горизонтов с погружением в направлении к складчатой области. В пределах указанных территорий НГО установлено широкое развитие процессов латеральной и вертикальной миграции, подобная миграция была наиболее интенсивной в меловую эпоху за счет динамического воздействия фронта надвигов. Характер строения осадочного разреза позволяет здесь прогнозировать литологические и структурные залежи в зонах выклинивания проницаемых тел.

Общая проходка глубоким бурением на территории Алдано-Майской НГО (площадь 159,5 тыс. км<sup>2</sup>) составляет 11186 м, относительная плотность низкая и составляет меньше одного метра на кв. км. (табл. 1) (по материалам геофизики, дел скважин, ПГО «Ленанефтегазгеология», Госкомгеологии РС (Я), ОАО «Якутскгеофизика»).

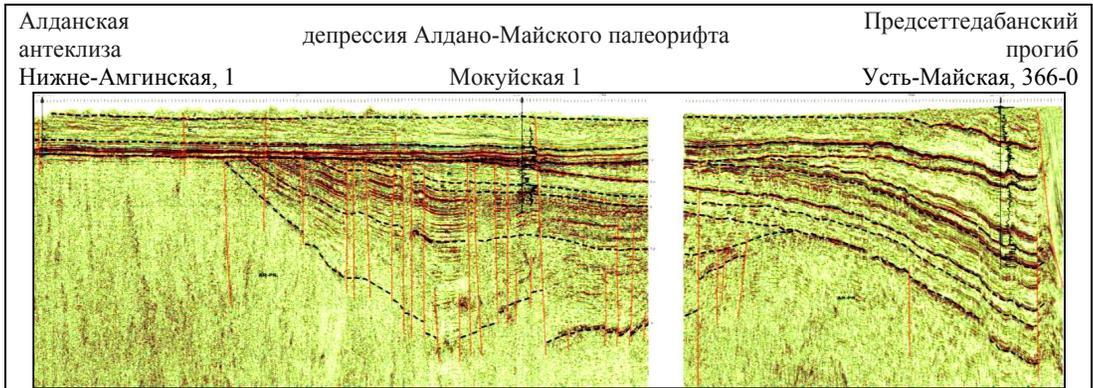
Таблица 1 – Данные глубокого бурения на Алдано-Майской НГО

Table 1 – Data on deep drilling at Aldan-Maya oil and gas region

№ пп	Площадь, № скв.	Категория скважин	Альтитуда, м	Возраст забоя (система/свита)	Глубина (факт), м	Год бурения
1	Нижне-Амгинская, 1	опорная	139,9	Кристаллический фундамент	-1109	1951
2	Мокуйская, 1	параметрическая	194,8	Нижний рифей, Гонамская свита	-3090	1981
3	Хочомская, 1	параметрическая	157,4	Кристаллический фундамент	-2072	1985
4	Усть-Майская, 366-0	параметрическая	364,0	Верхний рифей, Нерюенская свита	-3715	2014
5	Джебарики-Хаинская, 1	структурно-поисковая		Нижняя юра	-1200	1952
Всего по Алдано-Майской НГО – 5 скв: 11186 пог. М						

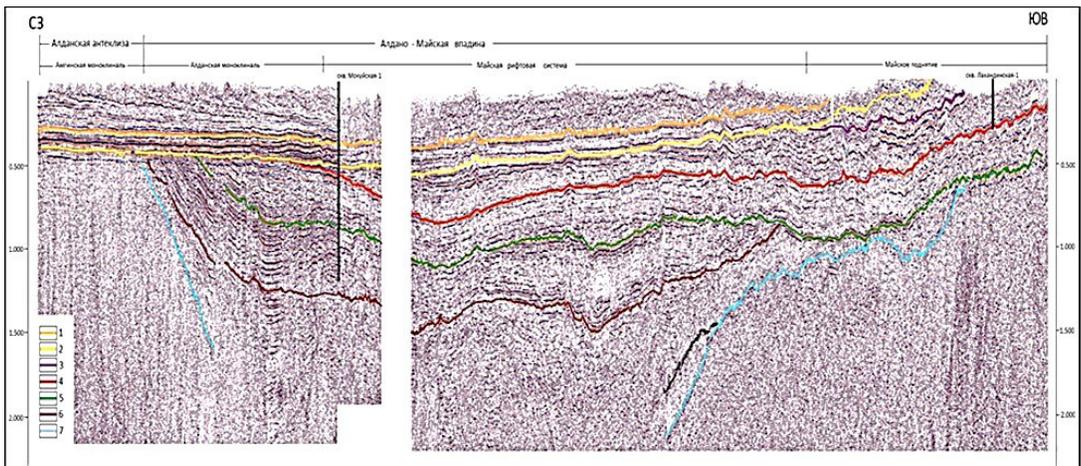
Ранее южнее административной границы РС (Я), в 1938 г. была пробурена Лахандинская скважина (глубиной 591,25 м) в своде выявленной В.З. Скороходом одноименной структуры (на периферии Омнинского поднятия). При ее бурении, в долине р. Б. Лаханда, с глубины 511-513 м был поднят керн кавернозных карбонатов рифея, насыщенных жидкой нефтью.

Отложения рифея вскрыты двумя скважинами (рис. 4, 5): Мокуйская 1, в интервале 1241-3090 (-1849) м в депрессии Алдано-Майского палеорифта и Усть-Майская 366, в инт. 1749-3712 (-1963) м в Предсеттедабанском прогибе.



**Рис. 4.** Сводный временной разрез, региональный маршрут по линии скважин Нижне-Амгинская, 1 – Мокуйская, 1 – Усть-Майская, 366-0, общая протяженность ~400 км [21]

**Figure 4.** Summary time profile, regional route along the line of wells Lower Amga, 1 – Mokuyskaya, 1 – Ust-Mayo, 366-0, total length ~ 400 km [21]



**Рис. 5.** Сводный сейсмический разрез по профилям МОГТ, общая протяженность ~500 км.

(направление: северо-запад – юго-восток; Якутский свод – Омнинское поднятие; Мокуйская параметрическая скважина – Лахандинская структурно-поисковая скважина [21])

**Figure 5.** Consolidated seismic section according to the profiles of the common depth point (CDP), the total length is ~ 500 km. (direction: north-west – south-east; Yakut vault – Omnin uplift; Mokuyskaya parametric well – Lakhanda structural prospecting well) [21]

Ограничивающим обстоятельством в прогнозе УВ здесь, прежде всего, является недостаточная изученность территории глубоким бурением, в практическом плане не позволяющая дать уверенную и максимально достоверную оценку перспектив. В свою очередь, отсутствие открытых месторождений и преобладание в разрезе плотных и слабопроницаемых пород, косвенно указывают на возможные неблагоприятные условия для образования скоплений и сохранности залежей.

Преобладающие перспективы АМП, вероятно, следует связывать с отложениями рифея. В том числе это обусловлено тем, что с рифейскими и вендскими интервалами разреза связан наблюдаемый здесь основной спектр нефтидопроявлений. В Усть-Майской скважине № 366 вскрытая в объеме 1963 м толща рифея представлена только верхним отделом: усть-кирбинская, кандыкская, игниканская, нерюенская свиты. В Мокуйской скважине 1, встречены отложения всех трех отделов рифея (вскрытая мощность 1849 м).

Алдано-Майская впадина – крупнейший структурный элемент рассматриваемой территории. С востока ограничена Кыллахской зоной Верхояно-Колымской складчатой системы, с юга и запада структурами Алданской антеклизы, а на севере Предверхоанского краевого прогиба.

По общим геологическим представлениям и на современном уровне знаний контролируемыми факторами газонакопления АМП следует считать, прежде всего структурную поверхность несогласия венд-рифей (региональный экран), а также структурно-блоковую поверхность фундамента.

Вендский разрез, являющийся флюидоупором для массивного резервуара Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления, литологически сходен с вендом Алдано-Майского бассейна, равно как и залегающие выше нижнекембрийские, что допускает сравнимое рассмотрение их геологического строения и истории формирования.

Погребенные рельефы также являются важной составляющей в определении перспектив геологических структур и участвуют в формировании областей генерации и путей миграции УВ, в строении литолого-стратиграфических ловушек. Наиболее перспективными территориями предположительно являются бортовые части Алдано-Амгинского осадочного бассейна, прилегающие к Омнинскому, Якутскому и другим поднятиям, выделяемым в структурном плане Алданской антеклизы.

Основные сведения о геологическом строении и нефтегазоносности на площади работ в зоне сочленения Алдано-Майской впадины и широтной ветви Предверхоанского прогиба базируются на результатах бурения Ивановской, Хочомской и Хандыгской скважин, а так же на материалах современных и ранее проведенных сейсморазведочных работ. Ивановская параметрическая скважина (глубина – 3625 м.), пробуренная на одноименной структуре в 1983 году, вскрыла непосредственно под пермскими отложениями породы кристаллического фундамента на глубине – 3508 м. Хочомская скважина вскрыла породы юры, кембрия, венда и фундамента на глубине – 2072 м. Хандыгская скважина вскрыла образования нижнего мела, нижней юры, верхнего кембрия, глубина – 1501 м. Мезозойская часть разреза этих скважин представлена в основном песчаными разностями. Кембрийский перспективный НГК во многом недоразведан, его потенциал необходимо определить в процессе проведения нефтегазопроисковых работ, бурения параметрических и поисково-оценочных скважин.

Сравнительный анализ сопредельной суши и арктического шельфа России, с одной стороны, показывает сходство строения и истории развития соседних территорий по палеозойским и мезокайнозойским комплексам отложений [22–25]. С другой стороны, отсутствие глубокого морского бурения в российском сегменте Северного Ледовитого океана (СЛО) и недостаток необходимой достоверной информации, порождает существенные различия в интерпретации геологического материала и в ресурсной оценке территории.

### **Заключение**

Современное геологическое строение восточного обрамления Сибирской платформы является одним из главных факторов для благоприятных условий миграции углеводородов. Здесь фиксируются положительные структуры, мегавалы, структурные выступы и региональные моноклинали. Мощный осадочный чехол, достигающий в погруженных частях более 10 км., создает благоприятные условия для нефтегазообразования и нефтегазонакопления. На этом фоне верхнепалеозой-мезозойский этаж нефтегазоносности терригенного наполнения имеет преобладающее значение в общем объеме осадочного выполнения суши арктической зоны.

В региональном плане на основе закономерностей в распределении углеводородов по фазовому состоянию углеводородов можно предполагать, что в бортовых частях исследуемой территории могут оказаться нефтеносные залежи, а в сводах газоносные.

Двухэтажное строение чехла обуславливает сложные взаимодействия верхнего и нижнего осадочных комплексов: каждый из них имеет свои структурные особенности, первичные термобарические условия и закономерности формирования залежей. Тектоническая перестройка могла влиять на процессы газонакопления не всегда оптимальным образом, но наличие двух самостоятельных этажей расширяет возможности успешного поиска углеводородов при оценке ресурсов новых территорий и планировании геологоразведки.

Высокий потенциал нефтегазоносности Вилуйской синеклизы неоспорим, хотя причины её, пока недооцененной реализации, требуют тщательного изучения. Особенно примечательно, что более 90 % глубокого бурения приходится именно на эту зону.

Подтверждение запасов газа и нефти на сопредельной суше, могло бы существенно стимулировать благоприятное развитие недропользования и инвестиций в поиски, разведку и газодобычу в экстремальных условия шельфа Арктики

### Литература

1. Арчegov, В.Б. Строение, нефтегазоносность и факторы контроля зональных скоплений углеводородов в древних комплексах Сибирской платформы / В.Б. Арчegov. Текст: электронный // Нефтегазовая геология. Теория и практика. –2010. – Т.5. № 3. – URL: [https://ngtp.ru/rub/4/41\\_2010.pdf](https://ngtp.ru/rub/4/41_2010.pdf) (дата обращения 02.12.2024).
2. Мигурский, Ф.А. Обоснование региональных исследований нефтегазоносности Предверхоанского перикратонного прогиба / Ф.А. Мигурский, Е.М. Якупова. Текст: непосредственный // Геология нефти и газа. – 2017. – № 3. – С. 18–25.
3. Каньгин, А.В. Происхождение палеозойских террейнов северо-восточной Азии: геологические доказательства раскола перикратонной окраины Сибирского палеоконтинента и миграции её фрагментов / А.В. Каньгин, Т.В. Гонта, А.В. Тимохин. Текст: непосредственный // Геология и геофизика. — 2020. – Т.61, № 11. – С. 1459–1475.
4. Соколов, Б.А. История нефтегазообразования и нефтегазонакопления на востоке Сибирской платформы / Б.А. Соколов, А.Ф. Сафронов, А.Ан. Трофимук, Г.С. Фрадкин, В.Е. Бакин, В.А. Каширцев, О.В. Япаскурт, А.И. Изосимова. – М.: Наука, 1986. – 167 с. – Текст: непосредственный.
5. Мигурский, Ф.А. Новые данные о геологическом строении Кютингдинского грабена (северо-восток Сибирской платформы) / Ф.А. Мигурский, Е.М. Якупова. Текст: непосредственный // Разведка и охрана недр. – 2018. – № 6. – С. 10–17.
6. Мигурский, Ф.А. Новые данные о геологическом строении антиклинальных структур северной части Предверхоанского перикратонного прогиба / Ф.А. Мигурский, Е.М. Якупова. Текст: непосредственный // Геология нефти и газа. – 2017. – № 5. – С. 31–36.
7. Геология нефти и газа Сибирской платформы / А.С. Анциферов, В.Е. Бакин, И.П. Варламов, В.И. Вожов, В.Н. Воробьев, А.В. Гольберт, В.В. Гребенюк, М.П. Гришин, Т.И. Гурова, Д.И. Дробот, А.Э. Конторович, В.Л. Кузнецов, В.М. Лебедев, И.Г. Левченко, М.М. Мандельбаум, Н.В. Мельников, К.И. Микуленко, Г.Д. Назимков, В.Д. Накаряков, И.Д. Полякова, Б.Л. Рыбьяков, В.Е. Савицкий, В.В. Самсонов, О.Ф. Стасова, В.С. Старосельцев, В.С. Сурков, А.А. Трофимук, Э.Э. Фотиади, А.В. Хоменко. –Москва: Недра, 1981. – 552 с. – Текст: непосредственный.
8. Сафронов, А.Ф. Нефтегазоносность востока Сибирской платформы: историко-генетический анализ, размещение месторождений нефти и газа / А.Ф. Сафронов // Наука и образование. – 2014. – № 3. – С. 63–69.
9. Ситников, В.С. Геологические условия нефтеносности и главные направления нефтепоисковых работ в западной Якутии / В.С. Ситников, А.Ф. Сафронов, В.П. Жерновский, А.И. Калинин, И.А. Кушмар, В.Ю. Мироненко, К.А. Павлова, М.М. Петров, А.В. Погодаев, А.И. Сивцев, С.Ю. Севостьянов,

И.Н. Фадеев, В.Б. Черненко, К.В. Шостак. Текст: непосредственный // Нефтегазогеологический прогноз и перспективы развития нефтегазового комплекса Востока России: сборник материалов научно-практической конференции, г. Санкт-Петербург, 17-21 июня 2013 г. – Санкт-Петербург: Изд-во ФГУП «ВНИГРИ», 2013. – С. 268–275.

10. Мельников, Н.В. Количественная оценка ресурсов углеводородного сырья юго-западной Якутии в свете новых геологических данных / Н.В. Мельников. Текст: непосредственный // Состояние и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса Республики Саха (Якутия) в современных условиях. – Якутск: Изд-во ЯФ СО РАН, 2001. – С.108–113.

11. Берзин, А.Г. Особенности размещения залежей углеводородов и природы геологических структур в Западной Якутии / А.Г. Берзин. – Новосибирск: Наука, 2011. – 255 с. – Текст: непосредственный.

12. Геология и нефтегазовый потенциал юго-запада Якутии: реалии и перспективы / В.С. Ситников, И.А. Бурова, И.А. Кушмар, Т.К. Баженова, И.А. Бурова, В.П. Семенов, Т.Д. Шибина, К.В. Шостак, Л.К. Яшенкова; под ред. В.С. Ситникова и О.М. Прищепы. – СПб.: ФГУП «ВНИГРИ», 2014. – 436 с. – Текст: непосредственный.

13. Клейменов, В.Ф. Специфичность газоаккумуляции в криолитозоне регионов Крайнего севера / В.Ф. Клейменов, Ю.М. Качалов. Текст: непосредственный // Геохимические и геофизические методы разведки, моделирование и разработка месторождений нефти и газа: сборник научных трудов ВНИГНИ. – М.: Изд-во ВНИГНИ, 2001. – С. 36–47.13.

14. Погодаев, А.В. Влияние режима АВПД на условия формирования и сохранения залежей газа в верхнепермских отложениях Хапчагайского мегавала / А.В. Погодаев. Текст: электронный // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2018. – Т.13, № 4. – URL: [https://www.ngtp.ru/upload/iblock/929/39\\_2018.pdf](https://www.ngtp.ru/upload/iblock/929/39_2018.pdf) (дата обращения 02.12.2024).

15. Каширцев, В.А. Месторождения природных битумов на северо-востоке Сибирской платформы (Российский сектор Арктики) / В.А. Каширцев, А.Э. Конторович, В.Л. Иванов, А.Ф. Сафронов. Текст: непосредственный // Геология и геофизика. – 2010. – Т.51, № 1. – С. 93–105.

16. Черданцев, Г.А. Перспективы нефтегазоносности верхнепермских отложений юго-западной части Виллойской синеклизы на основе анализа обстановок осадконакопления и геохимических условий нефтегазоносности / Г.А. Черданцев, А.М. Жарков. Текст: непосредственный // Записки Горного института. – 2021. – Т.251. – С. 698–711.

17. Шапорина, М.Н. Геолого-геофизические особенности строения Предверхоянского краевого прогиба и прилегающих территорий по данным нового сейсморазведочного речного профиля МОГТ-2D и переинтерпретации архивных материалов / М.Н. Шапорина, Е.В. Мосягин, О.Г. Садур, В.Н. Беспечный. Текст: непосредственный // Геология нефти и газа. – 2021. – № 5. – С. 55–73.

18. Росляк, И.Е. Оценка перспектив нефтегазоносности Ленской ветви Предверхоянского краевого прогиба на основе бассейнового моделирования / И.Е. Росляк, К.И. Данцова, А.С. Монакова. Текст: непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2023. – № 05. С. 52–56.

19. Найденов, Л.Ф. Перспективы нефтегазоносности осадочного чехла и прогноз ловушек углеводородов в северных и центральных районах Предверхоянского краевого прогиба / Найденов Л.Ф. Текст: непосредственный // Геология нефти и газа. – 2021. – № 6. С. 25–36.

20. Маргулис, Л.С. Строение юго-восточного перикратонного обрамления Сибирской платформы / Л.С. Маргулис, Б.Д. Ковнир, В.Г. Сереженков, И.Ф. Нафиков. Текст: электронный // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т.10, № 1. – URL: [http://www.ngtp.ru/rub/4/11\\_2015.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/11_2015.pdf) (дата обращения 02.12.2024).

21. Шкарубо, С.И. Стратиграфия и характеристика сейсмических комплексов осадочного чехла шельфа западной части моря Лаптевых / С.И. Шкарубо, Г.А. Заварзина. Текст: электронный // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т.6, № 2. – URL: [http://www.ngtr.ru/2/14\\_2011.pdf](http://www.ngtr.ru/2/14_2011.pdf) (дата обращения 02.12.2024).

22. Берзин, А.Г. Данные по геологии Алдано-Майского прогиба / А.Г. Берзин, А.П. Оболкин, С.Ю. Севастьянов, А.А. Егошин, В.А. Дьяконова. Текст: непосредственный // Отечественная геология. – 2011. – № 6. – С. 21–26.

23. Оболкин, А.П. Особенности сейсмогеологических характеристик Анабаро-Оленекской структурной зоны, шельфов моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря / А.П. Оболкин, М.И. Слепцова. Текст: непосредственный // Успехи современного естествознания. – 2023. – № 9. – С. 54–62.

24. Оболкин, А.П. Изучение возможного проявления в сейсмическом волновом поле Южно-Ануйской сутуры в основании Тастахского прогиба северо-востока Якутии / А.П. Оболкин, В.С. Ситников, М.И. Слепцова, Р.Ф. Севостьянова. Текст: непосредственный // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2022. – № 1. С. 57–62.

25. Оболкин А.П., Ситников В.С., Слепцова М.И., Севостьянова Р.Ф. Изучение Андриановского поднятия на шельфе Северо-Востока методами сейсмостратиграфического и структурного анализов / А.П. Оболкин, В.С. Ситников, М.И. Слепцова, Р.Ф. Севостьянова. Текст: электронный // Геология и нефтегазовый потенциал Республики Саха (Якутия). Проблемы разведки и освоения: сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции, г. Якутск, 11 августа 2022. – Киров: АНО ДПО Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2022. – ISBN 978–5–907623–22–4. – С. 72–73. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49509730>

### References

1. Archegov VB. Structure, petroleum potential and control factors of hydrocarbon accumulations zones in ancient complexes of Siberian Platform. *Petroleum Geology – Theoretical and Applied Studies*. 2010;5(3):13. Available from: [https://ngtp.ru/rub/4/41\\_2010.pdf](https://ngtp.ru/rub/4/41_2010.pdf) [Accessed 02 December 2024]. (in Russian)

2. Migurskiy FA., Yakupova EM. Substantiation of local studies of oil and gas potential of Predverkhoyanskiy pericratonic sag. *Russian Oil And Gas Geology*, 2017;3:18–25. (in Russian)

3. Kanygin AV, Gonta TV, Timokhin AV. Position of the Siberian platform and adjacent cratonic terranes in the Paleozoic from paleontological and geological evidence. *Russian Geology and Geophysics*, 2020;61(4):359–377. (in Russian)

4. Sokolov BA, Safronov AF, Trofimuk AAn, et al. History of oil and gas formation and oil and gas accumulation in the east of the Siberian platform. Moscow: Science, 1986:167. (in Russian)

5. Migurskiy FA, Yakupova EM. New data on geological structure of Cutungdinsky graben (the Siberian platform north-east). *Exploration and protection of subsoil*, 2018;6:10–17. (in Russian)

6. Migurskiy FA, Yakupova EM. New data on the geological anticlinal structures of the northern part of Predverkhoyanskiy pericratonic foredeep. *Russian Oil And Gas Geology*, 2017;5:31–36. (in Russian)

7. Antsiferov AS, Bakin VE, Varlamov IP, et al. Geology of oil and gas of the Siberian platform. Moscow: Nedra, 1981:552. (in Russian)

8. Safronov AF. Oil and gas potential of the east of the Siberian platform: historical and genetic analysis, location of oil and gas fields. *Science and education*, 2014;3:63–69. (in Russian)

9. Sitnikov VS, Safronov AF, Zhernovskiy VP, et al. Geological conditions of oil content and the main directions of oil exploration in western Yakutia. In: *Oil and gas geological forecast and prospects for the development of the oil and gas complex of the East of Russia: a collection of materials from the scientific and practical conference*, 17–21 June 2013, St. Petersburg, Russia. St. Petersburg: Publishing House FSUE “VNIGRI”; 2013: 268–275. (in Russian)

10. Melnikov NV. Quantitative assessment of hydrocarbon resources of southwestern Yakutia in the light of new geological data. In: *State and prospects for the development of the mineral resource complex of the Republic of Sakha (Yakutia) in modern conditions*. Yakutsk: Publishing House YaF SB RAS, 2001: 108–113. (in Russian)

11. Berzin AG. Features of the location of hydrocarbon deposits and the nature of geological structures in Western Yakutia. *Novosibirsk: Science*, 2011:255. (in Russian)

12. Sitnikov VS, Burova IA, Kushmar IA, et al. Geology and oil and gas potential of the south-west of Yakutia: realities and prospects. St. Petersburg: FSUE “VNIGRI”, 2014:436. (in Russian)

13. Pogodaev AV. Influence of abnormally high formation pressure of the permian sequences preservation conditions of the Khapchagai mega-swell. *Petroleum Geology – Theoretical and Applied Studies*. 2018;13(4):19.

Available from: [https://www.ngtp.ru/upload/iblock/929/39\\_2018.pdf](https://www.ngtp.ru/upload/iblock/929/39_2018.pdf) [Accessed 02 December 2024]. (in Russian)

14. Kleimenov VF. Specificity of gas accumulation in the cryolithozone of the regions of the Far North. In: Geochemical and geophysical exploration methods, modeling and development of oil and gas fields: collection of scientific works of VNIGNI. Moscow: Publishing house VNIGNI, 2001:36–47. (in Russian)

15. Kashirtsev VA, Kontorovich A E, et al. Natural bitumen fields in the northeast of the Siberian Platform (Russian Arctic sector). Russian Geology and Geophysics, 2010;51(1):72–82. (in Russian)

16. Cherdantsev GA, Zharkov AM. Prospects for the oil and gas content of the Upper Permian deposits of the southwestern part of the Vilyui syncline based on the analysis of sedimentary environments and geochemical conditions of oil and gas content. Zapiski Gornogo Instituta, 2021;251: 698–711. (in Russian)

17. Shaporina MN, Mosyagin EV, et al. Geological and geophysical structural features of Predverkhoyansky foreland basin and neighbouring areas: data from new along-river 2d cdp seismic survey line and reinterpretation of legacy data. Russian Geology and Geophysics, 2021;5:55–73. (in Russian)

18. Roslyak IE, Dantsova KI, Monakova AS. Estimation of prospects for oil and gas potential of the Lena branch of the Predverkhoyansk foredeep based on basin modeling. Oil Industry Journal, 2023;5:52–56. (in Russian)

19. Naidenov LF. Northern and central regions of Verkhoyansk foredeep: sedimentary cover petroleum potential and hydrocarbon traps prediction. Russian Oil And Gas Geology, 2021;6:25–36. (in Russian)

20. Margulis LS, Kovnir BD, et al. Structure of southeastern pericratonic plunging of Siberian Platform. Petroleum Geology – Theoretical and Applied Studies. 2015;10(1):20. Available from: [http://www.ngtp.ru/rub/4/11\\_2015.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/11_2015.pdf) [Accessed 02 December 2024]. (in Russian)

21. Shkarubo SI, Zavarzina GA. Stratigraphy and characteristics of seismic complexes of the sedimentary cover of the shelf of the western part of the Laptev Sea. Petroleum Geology – Theoretical and Applied Studies. 2011;6(2):21. Available from: [https://www.ngtp.ru/rub/2/14\\_2011.pdf](https://www.ngtp.ru/rub/2/14_2011.pdf) [Accessed 02 December 2024]. (in Russian)

22. Berzin AG, Obolkin AP, Sevastyanov SYu., Egoshin AA., Dyakonova VA. Data on the geology of the Aldan-May trough. Domestic Geology, 2011;6: 21–26. (in Russian)

23. Obolkin AP, Sleptsova MI. Features of the seismogeological characteristics of the Anabar-Olenek structural zone, the shelves of the Laptev sea and the East Siberian sea. Advances in current natural sciences, 2023;9:54–62. (in Russian)

24. Obolkin AP, Sintnikov VS, et al. Study of possible manifestation of the South–Anyuy suture in the seismic wave field at the base of the Tastakh trough in the northeastern Yakutia. Geology and mineral resources of Siberia, 2022;1:57–62. (in Russian)

25. Obolkin AP, Sintnikov VS, Sleptsova MI, et al. Study of the Andrianovsky uplift on the shelf of the North-East using seismostratigraphic and structural analyzes. In: Geology and oil and gas potential of the Republic of Sakha (Yakutia). Problems of exploration and development: collection of abstracts of the All-Russian Scientific and Practical Conference, 11 August, Yakutsk, Russia. Kirov: ANO DPO Interregional Center for Innovative Technologies in Education; 2022:72–73. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49509730> [Accessed 02 December 2024]. (in Russian)

### Сведения об авторах

*ПОГОДАЕВ Александр Валентинович* – к.г.-м.н., с.н.с., Институт проблем нефти и газа СО РАН; АО «Туймаданефтегаз», Researcher ID: AAC-9270-2022, SPIN: 7077-9181. E-mail: alexandrvgodaev@gmail.com

*POGODAEV Alexander V.* – Candidate Geological And Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS; JSC Tuymadaneftgaz ResearcherID: AAC-9270-2022, SPIN: 7077-9181

*СЕВОСТЬЯНОВА Розалия Федоровна* – И.о. зав. лаб. Институт проблем нефти и газа СО РАН. E-mail: rose\_sevos@mail.ru

*SEVOSTYANOVA Rosalia F.* – Acting head of the laboratory. Institute of Oil and Gas Problems SB RAS

*СЛЕПЦОВА Мария Ивановна* – к.т.н., с.н.с., Институт проблем нефти и газа СО РАН, ORCID: 0000-0002-7499-2060, Researcher ID: F-1126-2014, Scopus Author ID: 57216500804, SPIN: 3656-8593. E-mail: msleptsova@mail.ru

*SLEPTSOVA Maria I.* – Candidate Technical Sciences, Senior Researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, <https://orcid.org/0000-0002-7499-2060>, ResearcherID: F-1126-2014, Scopus Author ID: 57216500804, SPIN: 3656-8593

*ЖАРКОВ Александр Михайлович* – д.г.- м.н., профессор, Санкт-Петербургский горный университет, ORCID: 0000-0001-7326-1664, Researcher ID: 64388, Scopus Author ID: 14055125400, SPIN: 7096-0109. E-mail: zharkov\_am@pers.spmi.ru

*ZHARKOV Alexander M.* – Doctor Geological and Mineralogical Sciences, professor, The Saint Petersburg Mining University, <https://orcid.org/0000-0001-7326-1664>, Scopus Author ID: 14055125400, SPIN: 7096-0109

*ПАВЛОВА Капитолина Алексеевна* – н. с., Институт проблем нефти и газа СО РАН, <https://orcid.org/0000-0001-5833-8547>, Researcher ID: F-1371-2014, Scopus Author ID: 57209804659, SPIN: 8599-3070. E-mail: pavlova\_kapitolina@mail.ru

*PAVLOVA Kapitolina Alekseevna* – Researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, <https://orcid.org/0000-0001-5833-8547>, ResearcherID: F-1371-2014, Scopus Author ID: 57209804659, SPIN: 8599-3070

*А.И. Сивцев<sup>1</sup>✉, А.И. Калинин<sup>2</sup>, Н.А. Сивцев<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск, Россия

✉ maraday@yandex.ru

## СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ

**Аннотация.** Представлены краткие результаты геологоразведочных работ на нефть и газ в пределах Лено-Анабарского прогиба и Анабаро-Хатангской седловины. Отмечены крайне низкий и неравномерный уровень геолого-геофизической изученности рассматриваемых территорий и необходимость изучения среднепалеозойского комплекса отложений. На основе опубликованных и фондовых сведений сделан краткий обзор литолого-стратиграфических описаний разрезов и особенностей геологического строения среднепалеозойских отложений изучаемой территории. Построена палеогеографическая схема среднепалеозойского рифтового комплекса Лаптевской плиты и прилегающей территории. Приведены данные свидетельствующие о нефтематеринских свойствах девонских отложений в пределах Анабаро-Хатангской седловины. На основе геолого-геофизических данных сделано предположение о наличии соленосных отложений в разрезе Кютюнгинского грабена. Указана возможность реализации нефтематеринского потенциала венд-кембрийских отложений в нижней части разреза Кютюнгинского грабена. Дан прогноз перспектив нефтегазоносности южной части шельфа моря Лаптевых связанный со среднепалеозойскими отложениями.

**Ключевые слова:** Арктическая зона; Анабаро-Хатангская седловина; Лено-Анабарский прогиб; средний палеозой; соленосные отложения; нефтематеринские свиты; галокинез; перспективы нефтегазоносности.

**Для цитирования:** Сивцев А.И., Калинин А.И., Сивцев Н.А. Среднепалеозойские отложения северо-востока Сибирской платформы: особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 49–62. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-49-62

*Работа выполнена в рамках Госзадания Министерства науки и высшего образования РФ № 122011100158-2.*

*A.I. Sivtsev<sup>1</sup>, A.I. Kalinin<sup>2</sup>, N.A. Sivtsev<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>M.K. Ammosov North Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup>Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk, Russia

✉ maraday@yandex.ru

## MIDDLE PALEOZOIC DEPOSITS OF THE NORTHEASTERN SIBERIAN PLATFORM: FEATURES OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE AND PROSPECTS OF OIL AND GAS CONTENT

**Abstract.** Brief results of geological exploration for oil and gas within the Lena-Anabar trough and Anabar-Khatanga saddle are presented. The extremely low and uneven level of geological and geophysical study of the territories under consideration and the need to study the Middle Paleozoic complex of sediments are noted. Based on the published and archive information, a brief overview of lithological and stratigraphic descriptions of sections and features of the geological structure of the Middle Paleozoic deposits of the studied territory is made. A paleogeographic diagram of the Middle Paleozoic rift complex of the Laptev plate and the adjacent territory were constructed. The data indicating the oil-source properties of the Devonian deposits within the Anabar-Khatanga saddle are presented. On the basis of geological and geophysical data, an assumption is made about the presence of saliferous deposits in the section of the Kutyungda graben. The possibility of realizing the

oil-source potential of the Vendean-Cambrian deposits in the lower part of the section of the Kyutyungda graben is indicated. The prospects of oil and gas content of the southern part of the Laptev Sea shelf related to the Middle Paleozoic deposits are predicted.

**Keywords:** Arctic zone, Anabar-Khatanga saddle, Lena-Anabar trough, Middle Paleozoic, saliferous deposits, oil-source formations, halokinesis, prospects of oil and gas content.

**For citation:** Sivtsev A.I., Kalinin A.I., Sivtsev N.A. Middle Paleozoic deposits of the northeastern Siberian platform: features of the geological structure and prospects of oil and gas content. Vestnik of NEFU. Earth Sciences. 2024, № . 4. Pp. 49–62. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-49-62

*The work was carried out within the framework of the State Task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 122011100158-2.*

## Введение

В настоящее время весьма актуальной задачей Арктической зоны Республики Саха (Якутия) является обеспечение устойчивого грузопотока по северному морскому пути. Открытие месторождений нефти и газа на северных территориях может внести ощутимый вклад в решении этой задачи. Для повышения эффективности геологоразведочных работ, направленных на опосредованное месторождений углеводородов необходима обоснованная постановка приоритетных направлений как по площади, так и по разрезу. По ряду критериев, таких как наличие нефтематеринских пород, эффективных флюидоупоров и доступных для бурения глубин сосредоточение нефтегазопоисковых работ на территориях с развитием среднепалеозойских отложений представляется наиболее перспективным направлением.

## Постановка проблемы

Изучаемая территория, включающая территорию Анабаро-Хатангской седловины, Лено-Анабарского прогиба, северной части Предверхоанского прогиба и акваторию моря Лаптевых, в целом относится к северо-восточному арктическому сектору РФ. Степень геолого-геофизической изученности рассматриваемой территории с позиций оценки перспектив нефтегазоносности невысокая и крайне неравномерная.

В пределах Анабаро-Хатангской седловины на 01.07.2019 г. отработано 4110 км сейсмических профилей МОГТ и пробурено 54 скважины на 18 площадях [1]. Большая часть объема буровых работ приходится на 40-50-е годы прошлого столетия, когда в пределах Анабаро-Хатангской седловины проводилось бурение на структурах, не подготовленных геофизическими методами. В результате этих работ, в пределах административной территории Республики Саха (Якутия) были открыты два небольших месторождения – Южно-Тигянское нефтяное и Чайдахское газовое. Надо заметить, запасы этих небольших месторождений, приуроченные к верхнепалеозойским отложениям, не поставлены на государственный баланс.

В Лено-Анабарском регионе средняя плотность сейсмических наблюдений достигает всего 0,095 км/км<sup>2</sup> [2]. Здесь в 80-90-х гг. прошлого столетия пробурено 7 скважин, в том числе 6 параметрических и 1 поисковая. Общий метраж составил 19,7 тыс. пог. м, что равняется плотности бурения 0,26 км/км<sup>2</sup>. Результаты глубокого бурения не привели к открытию месторождения нефти и газа. Получены прямые и косвенные признаки нефтегазоносности венд-кембрийских отложений в виде высокодебитных притоков пластовой воды с растворенным газом и битумопроявлений различного масштаба. Кроме того, на юго-восточной части Лено-Анабарского прогиба в пермских отложениях открыто и изучено Оленекское месторождение природных битумов.

Таким образом, полученная геолого-геофизическая и промысловая информация позволила предварительно оценить перспективы нефтегазоносности только по венд-кембрийским и верхнепалеозойско-мезозойским отложениям.

Вместе с тем в пределах изучаемой территории имеют распространение отложения среднепалеозойского потенциально нефтегазоносного комплекса, которые по мнению ряда

исследователей относятся к высокопродуктивным нефтематеринским толщам [3-8]. Кроме того, в отложениях данного комплекса присутствуют соли являющиеся наиболее эффективными флюидоупорами для углеводородов.

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

Материалами исследований послужили опубликованные научные труды и результаты геологоразведочных работ последних лет по среднепалеозойским отложениям рассматриваемой территории. Методами исследований стали синтез и анализ данных для выявления перспективных направлений нефтегазопроисхождения работ на нефть и газ.

#### **Особенности геологического строения**

Девонские отложения в виде изолированных выходов установлены на территории Хатангской впадины, где они участвуют в строении солянокупольных структур и приурочены, главным образом, к сводам и кепрокам куполов – Нордвик, Кожевниково, сопка Белая, горы Болохня, Юрюнг-Тумус, Ледовка и др. Нижний отдел представлен каменной солью, средний – слоистыми пачками гипсов с пропластками известняков, доломитов и ангидритов, верхний – известняками и доломитами. Суммарная мощность девонских отложений, по данным геологической съемки масштаба 1:1000000 (1998) составляет 1220 м. В местной стратиграфической схеме девонские отложения подразделены на сопочную, юктинскую и юрюнг-тумусскую свиты, а также известняковую толщу.

Сопочная свита сложена преимущественно каменной солью загрязненной терригенным материалом. В верхней части свиты появляются гипсы с прослоями ангидритов. Общая мощность свиты оценивается в 400–500 м. Возраст по положению в разрезе эмско-эйфельский [9]. М.К. Калинин [10] исходя из размеров соляных куполов определил первоначальную мощность недеформированной толщи каменной соли равной нескольким сотням метров.

К юктинской свите отнесены 18-20-метровые толщи доломитизированных органогенно-обломочных известняков, известково-доломитовых и доломитовых мергелей, слагающих кепрок соляного купола Нордвик. Возраст: верхи эйфельского-низи живетского ярусов [9].

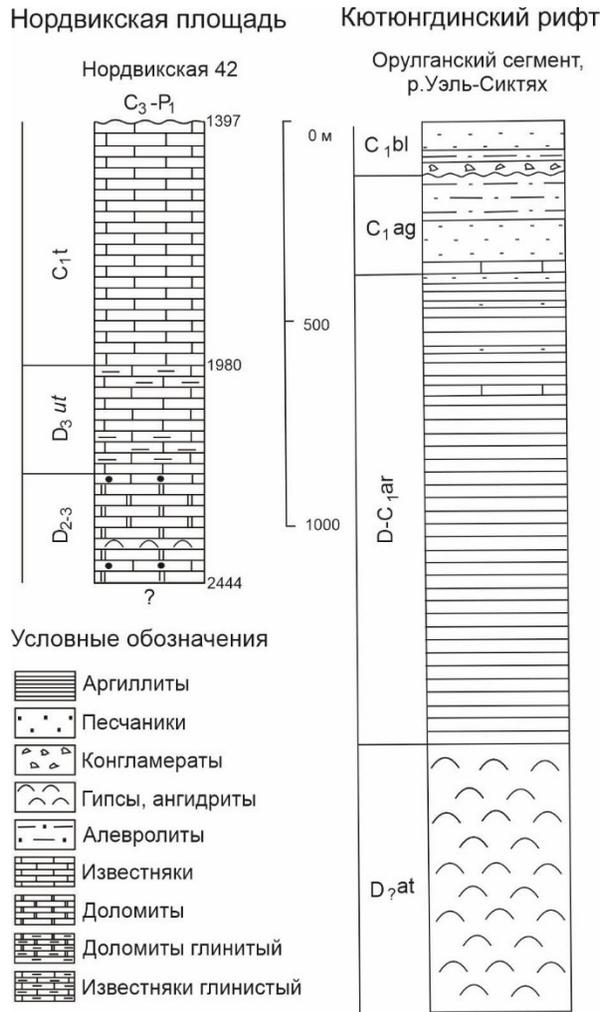
Юрюнг-Тумусская свита представлена темно-серыми тонкослоистыми доломитами и темно-серыми среднезернистыми массивными битуминозными кавернозными известняками с многочисленными органогенными остатками, а также гипсами и гипсоангидритовыми породами, образующими мощные (от 5-6 до 32 м) пачки. Общая мощность свиты 138-150 м. Верхняя часть свиты вскрыта скв. Р-42. Возраст по положению в разрезе – верхний живетфран.

Известняковая толща представлена темно-серыми глинистыми мелкозернистыми тонкоплитчатыми известняками. Контакт с подстилающими отложениями согласный. В региональной схеме девонских отложений толща в полном объеме отнесена к фаменскому ярусу [9]. Толщина более 170 м.

Полный разрез каменноугольных отложений рифтового комплекса вскрыт скважиной Р-42. Выделяются отложения турнейского, визейского и, предположительно, намюрского возраста (рис. 1).

По вещественно-структурным и текстурным особенностям турнейский комплекс пород делится на две толщи. Нижняя из них представлена темно-серыми, мелкозернистыми, доломитизированными массивными и толстослоистыми известняками. Мощность нижней толщи составляет около 230 м. Верхняя толща сложена темно-коричневато-серыми пелитоморфными, известняками с прослоями светло-серого известняка и темно-серого известковистого глинистого сланца. Мощность верхней толщи составляет 190 м. Общая мощность отложений турнейского яруса на п-ве Нордвик достигает 420 м.

Визейский ярус представлен темно-серыми, мелкозернистыми, органогенно-обломочными слабо окремненными известняками с участками темно-коричневато-серых пелитоморфных известняков. Толщина составляет порядка 140 м.



**Рис. 1.** Разрезы среднепалеозойских отложений Нордвикской площади (скв. Нордвикская 42) и Кютюнгинского грабена (по разрезам р. Уэль-Сиктях [11])

**Figure 1.** Sections of the Middle Paleozoic sediments of the Nordvik area (sq. Nordvik 42) and the Kutyungda graben (according to sections of the Uel-Siktyakh River [11])

Серпуховский ярус представлен переслаиванием толщ темно- и светло-серых мелкозернистых известняков, и органогенно-обломочных известняков с прослоями аргиллитов, и мергелей. Мощность намюрских отложений на п-ве Нордвик не превышает 60 м.

Таким образом, предполагаемая толщина девонских отложений в пределах восточной части Анабаро-Хатангской седловины, по-видимому, превышает 1000 м., без учета толщины соляных тел, образовавшихся в результате вязкого перераспределения каменной соли, вплоть до формирования соляных диапиров.

В Хараулахском районе, изученный разрез средне-верхнедевонских и нижнекаменноугольных отложений представлен преимущественно морскими и прибрежно-морскими сероцветными карбонатно-терригенными породами, иногда с покровами эффузивов. Подчиненное значение имеют серые и изредка красноцветные лагунные отложения, приуроченные к границе среднего и верхнего девона. Они совершенно лишены сульфатов и солей [12].

В бассейне р. Юёл-Сиктях, несколько южнее Хараулахского хребта Л.М. Натаповым изучены девонские отложения. Здесь они вскрываются в зоне крупного надвига и отличаются широ-

ким распространением сульфатных красноцветных пород. В обломках известняков и доломитов заключенных в толщах гипсов и ангидритов атырканской свиты найдены остатки кораллов, характерные для верхнеэйфельского и начала живетского веков. В таком случае подстилающие их сульфаты могут соответствовать позднеэйфельским или раннеживетским эвапоритовым горизонтам Норильского и Хатангского районов. Всего толщина средне-верхнедевонских отложений в бассейне Юель-Сиктях оценивается в 600 м.

Вышележащая артыганская свита представлена пестрыми красновато-бурыми, зеленовато-серыми и серыми мергелями, алевролитами и алевролитистыми известняками с характерной волнистой тонкослоистой текстурой. Возраст этих пород, с размывом перекрывающихся морскими нижнекаменноугольными отложениями, условно датируется верхним девонем. Толщина верхнедевонско-нижнекаменноугольных отложений в бассейне Юель-Сиктях оценивается 1100 м.

Среднепалеозойские толщи по результатам геолого-съёмочных работ устанавливаются в Кютюндинском грабене. Грабен в поле силы тяжести протягивается от южного склона Оленекского поднятия до предгорий Верхоянского хребта на 280 км. при ширине 40 км. [13]. Контуры грабена четко фиксируются зонами разрывных нарушений северо-западного простирания, по которым терригенно-карбонатные породы венда и кембрия соприкасаются с карбонатными отложениями турнейского и визейского ярусов каменноугольного периода. По мере движения к юго-востоку породы Кютюндинского грабена и вмещающие венд-кембрийские отложения погружаются под верхнепалеозойско-мезозойские толщи.

В частности, в бассейне нижнего течения р. Оленек установлена толща известняков и доломитов с остатками верхнетурнейской и визейской фауны. По краям этого грабена нижнекаменноугольные породы непосредственно перекрывают кембрийские, а в осевой части налегают на толщу красноцветных доломитовых мергелей, содержащих пласты гипсов мощностью около 60 м. Возраст гипсоносной толщи Л.М. Натаповым на основе сопоставления с разрезом атырканской свиты определен как средне-верхнедевонский.

Гипсоносная толща (кысылхаинская свита) в бассейнах рек Оленек и Кютюнда зафиксирована более чем в 70 локальных коренных выходах протяженностью 1-2 редко до 5 км., расположенных на разных (20-180 м.) гипсометрических уровнях. Общая площадь распространения толщи оценивается в 800 км<sup>2</sup>. В северных выходах, наиболее близких к краевому шву Кютюндинского грабена отмечаются разобщенные штоки диаметром 0,1-0,5 км. среди обширных площадей, сложенных карбонатными породами нижнего карбона [13].

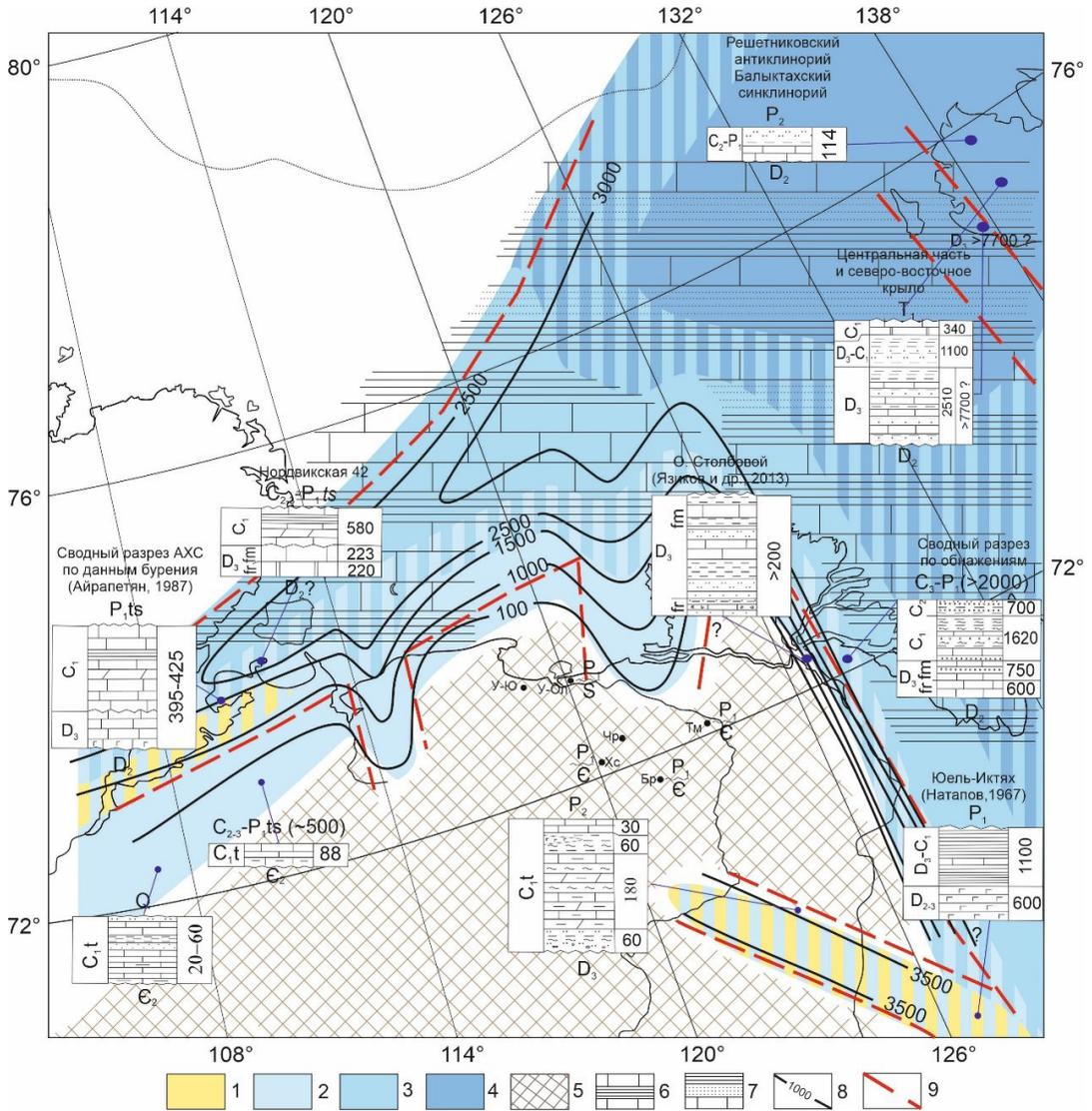
Кысылхаинская свита сложена пачками переслаивания гипсов, мергелей, аргиллитов и глин. Для нее характерны резкая фациальная изменчивость, отсутствие четкой нижней границы, невыдержанность строения и мощностей, а также наличие в кровле многих разрезов остаточных кор выветривания. В нижней части свиты преобладают мощные монолитные чистые гипсы. Толщина кысылхаинской свиты оценивается в 40 м.

Кысылхаинская свита с угловым несогласием перекрывается карбонатной пестроцветной толщей сэнской свиты верхнего девона – нижнего карбона. Общая толщина сэнской свиты 40 м. Выше с размывом залегают базальные неотсортированные известковые конгломераты турнейского яруса, либо гравелиты и известняки визе.

### **Перспективы нефтегазоносности**

На основе имеющихся данных построена палеогеографическая схема среднепалеозойского рифтового комплекса в пределах северо-востока Сибирской платформы с охватом шельфа моря Лаптевых (рис. 2). Среднепалеозойский этап (верхний девон-турне нижнего карбона) характеризовался, как и на всей территории востока Сибирского кратона, регенерацией рифейской рифтовой системы [14]. В пределах Лаптевской плиты осадконакопление в этот период происходило, в основном, в пределах, регенерированных рифтовых структур, представлявших собой типичные трехлучевые системы с обязательным присутствием в разрезе эвапоритов и базитов. Толщина этих отложений возрастает в северо-восточном направлении – до 2-3,5 км.

Максимальные толщины фиксируются в центральной части острова Котельный (более 7 км.). Как видно, из схемы в континентальной части северо-востока Сибирской платформы перспективы нефтегазоносности среднепалеозойских отложений связываются с Анабаро-Хатангской седловиной и Кютюнгдинским грабеном.



**Рис. 2.** Палеогеографическая схема среднепалеозойского рифтового комплекса Лаптевской плиты и прилегающей территории

Условные обозначения: Условия осадконакопления: 1 – лагунные, 2 – прибрежно-морские, 3 – морские мелководные, 4 – морские глубоководные, 5 – зоны отсутствия осадков; Обобщенный литологический состав: 6 – терригенно-карбонатный, 7 – карбонатно-терригенный, 8 – изолинии толщин, 9 – разрывные нарушения

**Figure 2.** Paleogeographic diagram of the Middle Paleozoic rift complex of the Laptev plate and the adjacent territory

Symbols: Sedimentation conditions: 1 – lagoon, 2 – coastal-marine, 3 – shallow-sea, 4 – deep-sea, 5 – no precipitation zones; Generalized lithological composition: 6 – terrigenous-carbonate, 7 – carbonate-terrigenous, 8 – thickness isolines, 9 – discontinuous faults

Аналогичные соленосные отложения также могут быть обнаружены и в пределах шельфа моря Лаптевых. Например, на северо-восточном продолжении Хатангского рифта в южной части моря Лаптевых. Возможно кольцеобразный остров Песчаный имеет солянокупольный генезис. На северном продолжении Хара-Улахского сегмента соленосные отложения не прогнозируются. По всей видимости, здесь отложения приобретают глубоководный характер.

#### *Анабаро-Хатангская седловина*

На территории седловины в тридцатые-сороковые годы XX столетия были открыты нефтяные залежи на Кожевниковской, Ильинской и Южно-Тигянской площадях, приуроченные, главным образом, к пермским отложениям. На Нордвикской площади получена нефть из триасовых отложений. На Чайдахской площади открыта газовая залежь в отложениях нижней перми. Чайдахское и Южно-Тигянское месторождения находятся в административных границах Республики Саха (Якутия).

В 2017 году в пределах Хатангского залива открыто Центральное-Ольгинское нефтяное месторождение. Бурение скважины первооткрывательницы велось с берега п-ва Хара-Тумус. В процессе бурения был осуществлен 3-кратный отбор керна с глубин в интервале 2305-2363 м, исследование которого показало интенсивное насыщение нефтью с преобладанием легких маслянистых фракций. Вся геологическая информация по месторождению относится к коммерческой тайне, но судя по глубине прямые признаки нефтегазоносности приурочены к триасовым отложениям.

Более изученным в геолого-промысловом отношении представляется Южно-Тигянское нефтяное месторождение. Подробное геологическое описание месторождения и промысловые характеристики даны в работе [15]. На рис. 3 представлен сейсмогеологический разрез западного купола Южно-Тигянской структуры.

Месторождение разрабатывалось единственной скважиной Р-102, заложенной на западном куполе структуры. Всего зафиксированная накопленная добыча по скважине составила порядка 2085,15 тонн сырой нефти [15], из них в период с 12.1948 г. по 08.1952 г. – 1789 м<sup>3</sup> нефти (1789×0,95 = 1699,55 тонн) и в период с 06.1996 г. по 08.2002 г. – 385,6 тонн.

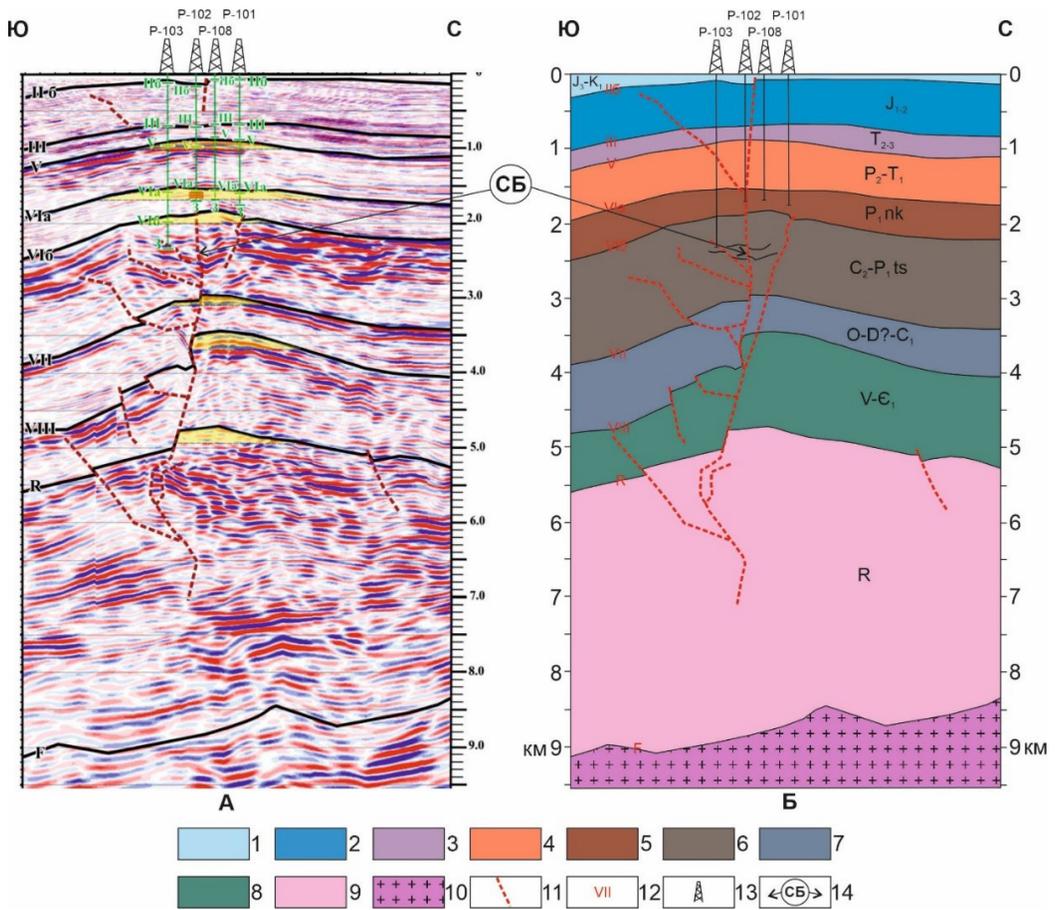
Нефтяная залежь Южно-Тигянского месторождения приурочена к пермским отложениям, но ряд геохимических параметров, таких как низкие значения отношения пристан/фитан, высокие концентрации гаммацерана и сквалана, преобладание адиантана над гопаном свидетельствуют о формировании материнских пород в условиях резко засоленного лагунного бассейна. Здесь, нефтематеринскими отложениями среднего палеозоя могли быть «доманикоидные» по типу толщи нижнефранского возраста D<sub>3</sub>, представленные массивными черными морскими глинистыми известняками с прослоями известняков и известковистых аргиллитов [15].

В то же время соотношение диастеранов и регулярных стеранов указывает на преимущественно терригенный состав исходного ОВ, характерный для лагунно-континентального режима осадконакопления с широким развитием озерно-болотных фаций.

В целом, особенности состава и распределения молекул-биомаркеров с учётом всех геохимических данных, позволяют предполагать, что источником генерации нефти Южно-Тигянского месторождения могло послужить ОВ смешанного состава девонско-пермского очага нефтегазообразования [16, 17].

Таким образом, как и другие изученные нефти Анабаро-Хатангской седловины – Нордвикская нефть (средний триас), нефтепроявления п-ва Юрюнг-Тумус (средняя юра) и Северо-Суодемской скв.2 (верхняя пермь) – Южно-Тигянские нефти «обязаны своим происхождением главным образом ОВ девонского комплекса отложений. Менее существенным представляется вклад верхнепалеозойских нефтематеринских пород» [17].

На основании вышеизложенного, определяющую нефтематеринскую роль девонских отложений в нефтегазоносности Анабаро-Хатангской седловины можно считать установленной.



**Рис. 3.** Сейсмогеологический разрез поперек западного купола Южно-Тигянской структуры (участок профиля 050311 по материалам ГНЦ ФГУГП «Южморгеология», 2012) с дополнениями авторов

*Условные обозначения:* отложения: 1 – верхнеюрско-нижнемеловые, 2 – нижне-среднеюрские, 3 – средне-верхнетриасовые, 4 – верхнепермско-нижнетриасовые, 5 – нижнекожевниковская свита нижней перми, 6 – верхнекаменноугольно-нижнепермские (тустакхская свита), 7 – ордовикско-девон(?) -нижнекаменноугольные, 8 – венд-нижнекембрийские, 9 – рифейские; 10 – фундамент; 11 – разрывные нарушения; 12 – индексы отражающих горизонтов: IIб – кровля нижнее-среднеюрских отложений; III – кровля средне-верхнетриасовых отложений; V – кровля верхнепермских -нижнетриасовых отложений; VIa – кровля нижнекожевниковской свиты нижней перми VIб – кровля среднего карбона-тустакхской свиты нижней перми; VII – кровля ордовика-нижнего карбона; VIII – кровля венд-кембрийских отложений; R – кровля рифейских отложений; F –поверхность кристаллического фундамента архей-среднепротерозойского возраста; 13 – скважины глубокого бурения; 14 – зона перехода взброса на сброс

**Figure. 3.** Seismogeological section across the western dome of the South Tigyán structure (section of profile 050311 based on the materials of the Scientific Research Center FGUGP Yuzhmorgeologiya, 2012) with additions by the authors

Legend: deposits: 1 – Upper Jurassic-Lower Cretaceous, 2 – Lower Middle Jurassic, 3 – Middle Upper Triassic, 4 – Upper Permian-Lower Triassic, 5 – Lower Kozhevnik formation of Lower Permian, 6 – Upper Carboniferous-Lower Permian (Tustakh formation), 7 – Ordovician-Devonian(?) -Lower Carboniferous, 8 –Vendian-Lower Cambrian, 9 – Riphean; 10 – foundation; 11 – discontinuous faults; 12 – indices of reflecting horizons: IIb – roof of Lower-Middle Jurassic deposits; III – roof of Middle-Upper Triassic deposits; V – roof of Upper Permian -Lower Triassic deposits; VIa – roof of the Lower Kozhevnik formation of the Lower Permian VIb – roof of the Middle Carboniferous-Tustakh formation of the Lower Permian; VII – roof of the Ordovician-Lower Carboniferous; VIII – roof of the Vendean-Cambrian deposits; R – roof of the Riphean deposits; F –surface of the crystalline basement of the Archaean-Middle Proterozoic age; 13 – deep drilling wells; 14 – transition zone the rise to the reset

Соленосный комплекс в пределах Анабаро-Хатангской седловины традиционно рассматривается в качестве экранирующей толщи. Вместе с тем формы проявления галокинеза на седловине более разнообразны (от соляных штоков до криптодиapiroвых структур) в отличие от Кемпендяйской впадины, где установлен один из крупных соленосных комплексов среднего палеозоя на востоке Сибирской платформы. Основная причина в заметно большей толщине постдевонских осадков на седловине по сравнению с Кемпендяйской впадиной – в последней она не превышает 1,5 км., тогда как в пределах Анабаро-Хатангской седловины толщина постдевонских отложений достигает 6 км. При этом толщина постдевонских отложений возрастает в пределах седловины при движении на запад – от 2,5 км. на востоке до 6 км. на побережье Хатангского залива. В этом же направлении возрастают масштабы галокинеза – от криптодиapiroвых структур на востоке до соляных штоков на побережье Хатангского залива. О том, что большинство складок в пределах седловины в той или иной степени связаны с процессами галокинеза свидетельствует увеличение степени тектонической раздробленности локальных структур при движении на запад.

Развитие соляных куполов может обусловить образование различных ловушек, где возможна аккумуляция углеводородов [18]:

- а) пористые породы кепрока, из которых часто получают мощные фонтаны нефти;
- б) перекрывающие купол песчаные пласты, деформированные в складку;
- в) песчаные пласты крыльев купола: срезанные солью и в этом случае часто имеющие крутые углы падения; выклинивающиеся к соляному штоку;
- г) приуроченные к тектоническим блокам, разделенным разрывами за счет галокинеза.

Ловушки с промышленными скоплениями углеводородов связанные с отложениями, в которые внедряются массы каменной соли известны во многих районах земного шара, но особенно многочисленны они в провинции Галф-Кост в США, в северной части Германии, в Северном море и Эмбенском районе РФ [18].

На побережье бухты Кожевникова в кепроках соляных диапиров установлены фрагменты разрезов, представленные эвапоритовыми, карбонатными породами, содержащими фаунистические остатки всех отделов девонской системы и диабазами. Наличие соляных диапиров в акватории Хатангского залива установлено морской сейсморастворкой [19].

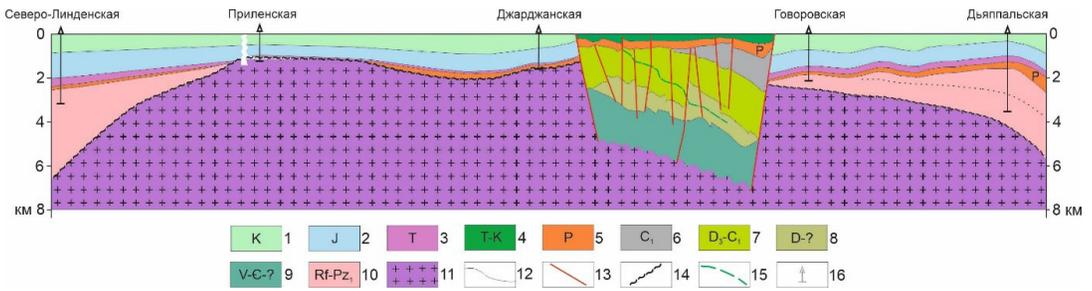
Таким образом, в пределах Анабаро-Хатангской седловины основные перспективы нефтегазоносности могут быть связаны со среднепалеозойскими отложениями. Отложения этого комплекса могут не только интенсивно генерировать нефть и газ, но, и служить экраном для образования различных ловушек.

### ***Кютюнгинский грабен***

Выходы гипсоносных отложений в пределах северо-западной и юго-восточной оконечностей Кютюнгинского грабена и значительная отрицательная аномалия в поле силы тяжести указывают о наличии единой соленосной толщи во внутренней части грабена. Отчасти данное предположение подтверждается данными сейсморастворочных работ 2014-2015 гг. (рис. 4). Полученные АО «Якутскгеофизика» четко свидетельствуют о более масштабном присутствии в грабене среднепалеозойских отложений, толщиной до 2-5 км. Таким образом, в пределах северной части Предверхоанского прогиба появляется весьма перспективный в нефтегазоносном отношении объект.

Северо-западная часть Кютюнгинского грабена охватывает Суханский осадочный бассейн. Нефтематеринские комплексы Суханского осадочного бассейна представлены битуминозно-карбонатной хатыспытской свитой венда и высокоуглеродистой карбонатно-кремнистой сланцевой куонамской свитой нижнего и среднего кембрия [20].

Хатыспытская свита венда изучена на северо-западном склоне Оленекского поднятия и обнажается в бассейне р. Хорбусонка. В верхней части хатыспытской свиты устанавливаются черные битуминозные тонкослоистые известняки, содержащие линзы темных массивных



**Рис. 4.** Продольный разрез Предверхоанского прогиба вдоль линии параметрических и опорных скважин: Дзяппальская-Говоровская-Джарданская-Приленская-Северо-Линденская

Условные обозначения: Отложения: 1 – меловые, 2 – юрские, 3 – триасовые, 4 – мезозойские, 5 – пермские, 6 – нижнекаменноугольные, 7 – верхнедевонско-нижнекаменноугольные, 8 – девонские(?), 9 – венд-кембрийские(?), 10 – рифейско-нижнепалеозойские, 10 – фундамент, 12 – геологические границы, 13 – разрывные нарушения, 14 – поверхность фундамента, 15 – детачмент, 16 – скважины

**Figure 4.** Longitudinal section of the Preverkhoyansk trough along the line of parametric and reference wells: Devilskaya-Govorovskaya-Dzhardanskaya-Prilenskaya-Severo-Linden

Legend: Deposits: 1 – Cretaceous, 2 – Jurassic, 3 – Triassic, 4 – Mesozoic, 5 – Permian, 6 – Lower Carboniferous, 7 – Upper Devonian-Lower Carboniferous, 8 – Devonian(?), 9 – Vendean-Cambrian(?), 10 – Riphean-Lower Paleozoic, 10 – basement, 12 – geological boundaries, 13 – discontinuous faults, 14 – foundation surface, 15 – detachment, 16 – wells

тонкозернистых известняков и редкие прослои аргиллитов. Содержание органического углерода в битуминозных известняках колеблется в пределах 0,03-4,19 %, повышаясь в сланцах до 14 % [20].

В пределах Суханского бассейна глинистые, карбонатные и кремнистые породы куонамской свиты с толщиной до 25-65 м. обогащены органическим веществом, содержание которого достигает 30 % от массы породы [16]. Нижне-среднекембрийские отложения формации являются уникальными по обогащенности ОВ во всем разрезе докембрия и палеозоя Сибирской платформы [21].

По уровню катагенеза ОВ породы хатыспытской свиты венда и куонамской свиты кембрия, обнажающиеся в непосредственной близости от бортов Кютюнгинского грабена, находятся на начальных грациях мезокатагенеза [20]. Соответственно, во внутренней части Кютюнгинского грабена катагенетические преобразования органического вещества обеих свит будут близки к уровню «главной зоны нефтеобразования».

Особенности строения кысылхайнской свиты (локальность выходов, разные гипсометрические уровни обнажений, отсутствие нижней границы, невыдержанность разреза и наличие в кровле отложений кор выветривания) свидетельствуют о том, что она обнажается в ядрах солянокупольных структур, прорывающих карбонатные породы ээнской свиты и нижнего карбона. Значительная отрицательная аномалия в поле силы тяжести и полученный на современном этапе сейсмогеологический разрез вполне допускают развитие единой соленосной толщи на всем протяжении грабена.

Предполагаемое наличие в нижней части разреза (в зоне неясной сеймостратификацией) венд-кембрийских нефтематеринских отложений в комплексе с соленосным экраном позволяет рассматривать площадь развития эвапоритовых отложений Кютюнгинского грабена в качестве высокоперспективного объекта на обнаружение залежей нефти и газа.

**Заключение**

Небольшие месторождения нефти и газа, открытые в пермско-триасовых отложениях Анабаро-Хатангской седловины, традиционно связываются с нефтематеринским потенциалом более древних отложений, который реализовался по разломам и трещиноватым зонам как

непосредственно из более глубоких частей разреза, так и с разновозрастных и древних отложений со стороны Анабаро-Хатангской погребенной синеклизы. Весьма вероятно, что эти скопления являются следами незначительных разгрузок более крупных скоплений или залежей нефти залегающих более глубоких отложениях (более 4000). В этой связи особый интерес вызывают соляные купола, обнаруженные на Нордвикском валу. В свете доминирования представлений, появившихся в последнее время, согласно которым горизонтальная миграция углеводородов, особенно, высоковязких разностей, является трудноосуществимой. Наличие же соляных штоков, сопровождаемых разломами и плотной зоной трещиноватости создает благоприятные условия для миграции и аккумуляции углеводородных залежей на доступных для бурения глубин. Аналогичные геологические условия прогнозируются и в шельфовой зоне – на северо-восточном продолжении Хатангского рифта.

Весьма интересным объектом для опосредованного месторождений нефти и газа становится Кютюнгинский грабен. Здесь также возможны развитие солянокупольных структур с которыми связываются множество различных эффективных ловушек углеводородов. На территории целесообразно поставить параметрическое бурение за счет федерального бюджета по программе регионального изучения. Скважина с глубиной 3500 м. позволит не только установить нефтегазоносность Кютюнгинского грабена, но и оценить перспективы нефтегазоносности глубинных участков Суханской впадины.

Наличие открытых месторождений нефти и газа, благоприятные геологические условия и близость к северному морскому пути делают рассмотренные территории одним из приоритетных объектов для нефтегазопромысловых работ в Арктической зоне Республики Саха (Якутия).

#### Литература

1. Конторович, В.А. Структурно-тектоническая характеристика и перспективы нефтегазоносности Анабаро-Хатангской седловины (Хатангский залив моря Лаптевых и прилегающие территории) / В.А. Конторович, Л.М. Калинина, А.Ю. Калинин, М.В. Соловьев // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2019. – Т.14. – № 3. – [http://www.ngtp.ru/rub/2019/24\\_2019.html](http://www.ngtp.ru/rub/2019/24_2019.html)
2. Конторович, В.А. Сейсмогеологические модели и нефтегазоносность осадочных комплексов в арктических регионах Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (Анабаро-Хатангская, Лено-Анабарская нефтегазоносные области) / В.А. Конторович, А.Ю. Калинин, Л.М. Калинина, М.В. Соловьев. – Текст: непосредственный. // Геология нефти и газа. – 2019. – № 5. – С. 15-26. – DOI 10.31087/0016-7894-2019-5-15-26.
3. Грамберг, И.С. Потенциальные возможности нефтегазообразования в осадочных толщах морей Лаптевых и Восточно-Сибирского/ И.С. Грамберг. – Текст: непосредственный // Геология шельфа Восточносибирских морей. Сборник научных трудов – Ленинград : НИИГА, 1976. – 122 с.
4. Евдокимова, Н.К. Углеводородный потенциал отложений осадочного чехла шельфов восточно-арктических морей России (Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского) / Н.К. Евдокимова, Д.С. Яшин, Б.И. Ким. – Текст: непосредственный // Геология нефти и газа. – 2008. – № 2. – С.3-12.
5. Иванов, В.В. Нафтиды и нафтоиды Северо-Востока СССР/ В.В. Иванов, Б.А. Клубов. – Текст: непосредственный. – Москва : Наука, 1979. – 147 с.
6. Косько, М.К. Седиментационные бассейны Восточно-Сибирского и Чукотского морей / М.К. Косько – Текст: непосредственный // Геология морей и океанов. Ленинград : ВНИИОкеангеология, 1988. – С. 188-195.
7. Полякова, И.Д. Углеводородный потенциал рифейско-нижнемеловых комплексов Лаптевоморского региона. – Текст: непосредственный / И.Д. Полякова, Г.Ч. Борукаев, С.А. Сидоренко // Арктика: экология и экономика. – 2016. – № 1(21). – С. 56-65.
8. Сафронов, А.Ф. Перспективы нефтегазоносности арктической части территории Западной Якутии / А.Ф. Софронов, В.С. Ситников, В.А. Каширцев, К.И. Микуленко. – Текст: непосредственный //

Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. – Санкт-Петербург : Издательство ВНИИОкеангеология. – 2002. – С.347-353.

9. Проскурнин, В.Ф. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Таймырско-Североземельская. Лист S-49 – Хатангский залив. Объяснительная записка / В.Ф. Проскурнин, А.В. Гавриш, В.В. Межубовский, В.Р. Трофимов В.В. Межубовский // Санкт-Петербург : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. – 2013. – 275 с. – Текст: непосредственный + 12 вкл

10. Калинин, М.К. История геологического развития и перспективы нефтегазоносности Хатангской впадины/ М.К. Калинин. – Л. : Гостоптехиздат, 1959. – 353 с. – Текст: непосредственный

11. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Отв. ред. Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика». – 2001. – 571 с. – Текст: непосредственный

12. Бернштейн, Г.Л. Соляная тектоника Сибирской платформы /Г.Л. Бернштейн, А.М. Боровиков, Н.Н. Дашкевич, М.А. Жарков, М.К. Калинин, Р.Б. Карпинский, Л.К. Качевский, М.М. Мандельбаум, В.В. Меннер, Н.А. Мулик, Д.И. Мусатов, Л.М. Натапов, Д.С. Рывин, К.А. Савинский, Л.Ф. Турова, Л.И. Федотова, Г.С. Фрадкин, М.А. Цахновский, Э.И. Чечель, В.И. Яскевич //Труды института геологии и геофизики. Выпуск 65. – Новосибирск : Наука, 1973. – 166 с. – Текст: непосредственный

13. Натапов, Л.М. К вопросу о возрасте и геодинамической природе эвапоритовой формации Кютингдинского грабена (Северо-Восток Сибирской платформы) / Л.М. Натапов, Л.М. Израилев. – Текст: непосредственный // Доклады Академии наук СССР. – 1990. – Т. 312. – № 1. – С. 174-178.

14. Сафронов, А. Ф. Нефтегазоносность востока Сибирской платформы: историко-генетический анализ, размещение месторождений нефти и газа / А. Ф. Сафронов. – Текст: непосредственный. // Наука и образование. – 2014. – № 3(75). – С. 63-69.

15. Sivtzev, A. I. Model of the South-Tegyansky Field of Heavy Oil / A. I. Sivtzev, O. N. Chalaya, I. N. Zueva // Georesources. – 2017. – Vol. 19, No. 3. – P. 279-283. – DOI 10.18599/grs.19.3.20. – EDN YMENZG.

16. Каширцев, В.А. Органическая геохимия нафтидов востока Сибирской платформы. / В.А. Каширцев. – Якутск: ЯФ изд-ва СО РАН, 2003. – 160 с. – Текст: непосредственный

17. Каширцев, В.А. Генезис нефтей и нефтепроявлений Анабаро-Хатангской седловины (Арктический сектор Сибирской платформы) / В.А. Каширцев, Н.С. Ким, Е.А. Фурсенко, О.С. Дзюба, А.Н. Фомин, О.Н. Чалая. – Текст: непосредственный // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2013. – № 1(13). – С. 54-63.

18. Леворсен, А.И. Геология нефти и газа / А.И. Леворсен. – Москва : Мир, 1970. – 639 с. – Текст: непосредственный

19. Шипилов, Э. В. Соляная тектоника в окраинно-континентальных эвапоритовых бассейнах Арктики / Э. В. Шипилов. – Текст: непосредственный // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2018. – № 15. – С. 401-404.– DOI 10.31241/FNS.2018.15.101. – EDN CVIIIQ.

20. Каширцев, В.А. Прямые признаки нефтегазоносности и нефтематеринские отложения Суханского осадочного бассейна Сибирской платформы / В.А. Каширцев, Т.М. Парфенова, С.А. Моисеев, А.В. Черных, Д.А. Новиков, Л.М. Бурштейн, К.В. Долженко, В.И. Рогов, Д.С. Мельник, И.Н. Зуева, О.Н. Чалая. – Текст: непосредственный // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, – № 10. – С.1472-1487.

21. Бахтуров, С.Ф. С. Куонамская битуминозная карбонатно-сланцевая формация/ С.Ф. Бахтуров, В.М. Евтушенко, В.С. Переладов. – Новосибирск : Наука, 1988. – 160 с. – Текст: непосредственный.

## References

1. Kontorovich VA., Kalinina LM., et al. Structural features of petroleum bearing prospects belonging to Anabar-Khatanga saddle (Khatanga bay of the Laptev sea and adjacent territories) – Eastern Siberia. Petroleum Geology – Theoretical and Applied Studies. 2019;3:18 Available from: [http://www.ngtp.ru/rub/2019/24\\_2019.html](http://www.ngtp.ru/rub/2019/24_2019.html) [Accessed 13 October 2024] (in Russian)

2. Kontorovich VA., Kalinin AY., et al. Seismogeological models and petroleum potential of sedimentary sequences in the arctic regions of Lena-Tunguska petroleum province (Anabar-Khatanga, Lena-Anabar petroleum areas). Geology of oil and gas. 2019;5:15-26. DOI 10.31087/0016-7894-2019-5-15-26. (in Russian)

3. Gramberg IS. Potential opportunities for oil and gas formation in the sedimentary strata of the Laptev and East Siberian Seas. In: Ivanov VL (eds). *Geology of the shelf of the East Siberian Seas*. L.: NIIGA, 1976:65-77.
4. Evdokimova NK, Yashin BI et al. Hydrocarbon potential of sedimentary cover deposits of offshore East arctic seas of Russia (Laptev, East Siberian and Chukotsk). *Geology of oil and gas*. 2008;2:3-12. (in Russian)
5. Ivanov VV, Klubov BA. Naphthides and naphthoids of the North-East of the USSR. M.: Nauka, 1979:147.
6. Kos'ko MK. Sedimentation basins of the East Siberian and Chukchi Seas. In: Gramberg IS. (eds). *Geology of the seas and oceans*. L.: VNIIOkeangeologiya, 1988:188-195.
7. Polyakova ID, Borukaev GCh et al. Hydrocarbon potential of riphean-lower cretaceous complexes of the Laptev sea region. *Arctic: Ecology and Economy*. 2016;1(21):56-65. (in Russian)
8. Safronov AF, Sitnikov VS. Prospects of oil and gas potential of the Arctic part of the territory of Western Yakutia. In: Dodin DA, Surkov VS et al (eds). *Arctic: geological history, mineralogy, geoecology* S-Pb.: VNIIOkeangeologiya, 2002.:347-353.
9. Proskurnin VF, Gavrish AV et al. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). The Taimyrsko-Severozemelskaya series. Sheet S-49 – Khatanga Bay. Explanatory note. SPb.: VSEGEI, 2013:275 + 12 appl.
10. Kalinko MK. The history of geological development and prospects of oil and gas potential of the Khatanga basin. L.: Gostoptekhizdat, 1959:353.
11. Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). In: Parfenov LM. and Kuz'min MI (eds). M.: Nauka/Interperiodika, 2001:571.
12. Bernshtejn GL, Borovikov AM et al. Salt tectonics of the Siberian platform. In: Kosygin YU (eds). *Proceedings of the Institute of Geology and Geophysics. Issue 65*. Novosibirsk: Nauka, 1973:166.
13. Natapov LM, Izrailev LM. On the question of the age and geodynamic nature of the evaporite formation of the Kyutingdinsky Graben (Northeast of the Siberian Platform). *Reports of the USSR Academy of Sciences*. 1990;1:174-178. (in Russian)
14. Safronov AF. Oil and gas potential of the East of the Siberian platform: historical and genetic analysis, location of oil and gas fields. *Science and education*. 2014;3(75):63-69. (in Russian)
15. Sivtzev AI, Chalaya ON et al. Model of the South-Tegyansky Field of Heavy Oil. *Georesources*. 2017;3:279-283. DOI 10.18599/grs.19.3.20. (in Russian)
16. Kashircev VA. Organic geochemistry of naphthides of the East of the Siberian Platform. Yakutsk: Publishing House of SB RAS, 2003:160
17. Kashircev VA, Kim NS et al. Genesis of oils and oil shows of the Anabar-Khatanga saddle (Arctic sector of the Siberian platform). *Geology and mineral resources of Siberia*. 2013;1(13):54-63. (in Russian)
18. Levorsen AI. *Geology of oil and gas*. M.: Mir, 1970:639
19. Shipilov EV. Salt tectonics in marginal continental evaporite basins of the Arctic. In: Kozlov NE (eds). *Proceedings of the Fersman Scientific session of the Geological Institute of the Krasnoyarsk Scientific Center RAS. Proceedings of the XV All-Russian (with international participation) Fersman scientific session dedicated to the 100th anniversary of the birth of Dr. E.K. Kozlov, April 1-3, 2018*. Apatity: 2018;15:401-404. (in Russian) DOI 10.31241/FNS.2018.15.101.
20. Kashircev VA, Parfenova SA et al. The Sukhana sedimentary basin, Siberian platform: source rock characterization and direct evidence of oil and gas presence. *Geology and Geophysics*. 2019;10:1472-1487. (in Russian) DOI: 10.15372/GiG2019119
22. Bahturov SF, Evtushenko VM et al. Kuonam bituminous carbonate-shale formation. Novosibirsk: Nauka, 1988:160.

#### Сведения об авторах

*СИБЦЕВ Алексей Иванович* – к.г.-м.н., доцент каф. «Недропользование» ГРФ, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: maraday@yandex.ru

*SIVTSEV Alexey I.* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Subsoil Use, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*КАЛИНИН Александр Иосифович* – н.с. ИПИГ СО РАН. E-mail: alexklmn@mail.ru

*KALININ Alexander I.* – *Alexander I. KALININ* – Researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS

*СИБЦЕВ Николай Алексеевич* – магистрант Института естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: sivtsevnicol@gmail.com

*SIVTSEV Nikolay Alekseevich* – Master's student, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

Д.М. Татаринов✉, И.А. Егоров, Т.М. Третьяков

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

✉ dm.tatarinov@s-vfu.ru

## ТРУДНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОХОДНОЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ ПРИ БУРЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

**Аннотация.** В статье описан метод устранения проблемы замерзания гидравлической системы буровой установки УРБ-2А2 при бурении геологоразведочных скважин в морозных условиях Республики Саха (Якутия). В ходе исследования мы проанализировали многолетний опыт промышленных компаний, занятых буровыми работами на территории Республики Саха (Якутия). В этой связи в районах Крайнего Севера важной задачей является разработка инновационных методов, направленных на улучшение условий труда рабочих и качества технологий для защиты гидравлических систем буровых установок, функционирующих в суровом климате региона.

В качестве меры профилактики и борьбы с замерзанием гидравлической системы мы предлагаем утепление гидроборудования бурового станка с использованием теплоизолирующих материалов. На основании проведённой диагностики и расчётов нам удалось разработать эффективный способ решения проблемы замерзания гидравлической системы. Этот метод не требует значительных изменений в существующем оборудовании и не влечёт за собой крупных финансовых затрат. На следующем этапе мы проведем испытания предложенного метода решения проблемы в условиях Крайнего Севера на самоходной буровой установке УРБ-2А2.

**Ключевые слова:** бурение скважин, геологоразведочные скважины, многолетняя мерзлота, колонковое бурение, буровое оборудование, поисковые скважины, разведочные скважины, экстремально низкие температуры, гидросистема, теплоизоляция, моделирование.

**Для цитирования:** Татаринов Д.М., Егоров И.А., Третьяков Т.М. Трудности эксплуатации самоходной буровой установки при бурении геологоразведочных скважин в условиях Крайнего Севера. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 63–71. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-63-71

Д.М. Татаринов✉, И.А. Егоров, Т.М. Третьяков

<sup>1</sup>М.К. Ammosov North Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

✉ dm.tatarinov@s-vfu.ru

## DIFFICULTIES IN OPERATING A SELF-PROPELLED DRILLING RIG WHEN DRILLING GEOLOGICAL EXPLORATION WELLS IN THE FAR NORTH CONDITIONS

**Abstract.** The article describes a method for eliminating the problem of freezing of the hydraulic system of the URB-2A2 drilling rig when drilling exploration wells in the freezing conditions of the Sakha Republic (Yakutia). During the study, we analyzed the long-term experience of industrial companies engaged in drilling operations in Yakutia. In this regard, in the regions of the Far North, an important task is to develop innovative methods aimed at improving the working conditions of workers and the quality of technologies for protecting the hydraulic systems of drilling rigs operating in the harsh climate of the region.

As a measure to prevent and combat freezing of the hydraulic system, we propose insulating the hydraulic equipment of the drilling rig using heat-insulating materials. Based on the diagnostics and calculations, we were able to develop an effective way to solve the problem of freezing of the hydraulic system. This method does not require significant changes in the existing equipment and does not entail large financial costs. At the next stage, we will test the proposed method for solving the problem in the conditions of the Far North on the URB-2A2 self-propelled drilling rig.

**Keywords:** well drilling, exploration wells, permafrost, core drilling, drilling equipment, machines and mechanisms, extremely low temperatures, hydraulic system, thermal insulation, modeling.

**For citation:** Tatarinov D.M., Egorov I.A., Tretyakov T.M. Difficulties in operating a self-propelled drilling rig when drilling geological exploration wells in the Far North conditions. *Vestnik of NEFU. Earth Sciences*. 2024, № 4. Pp. 63–71. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-71-79

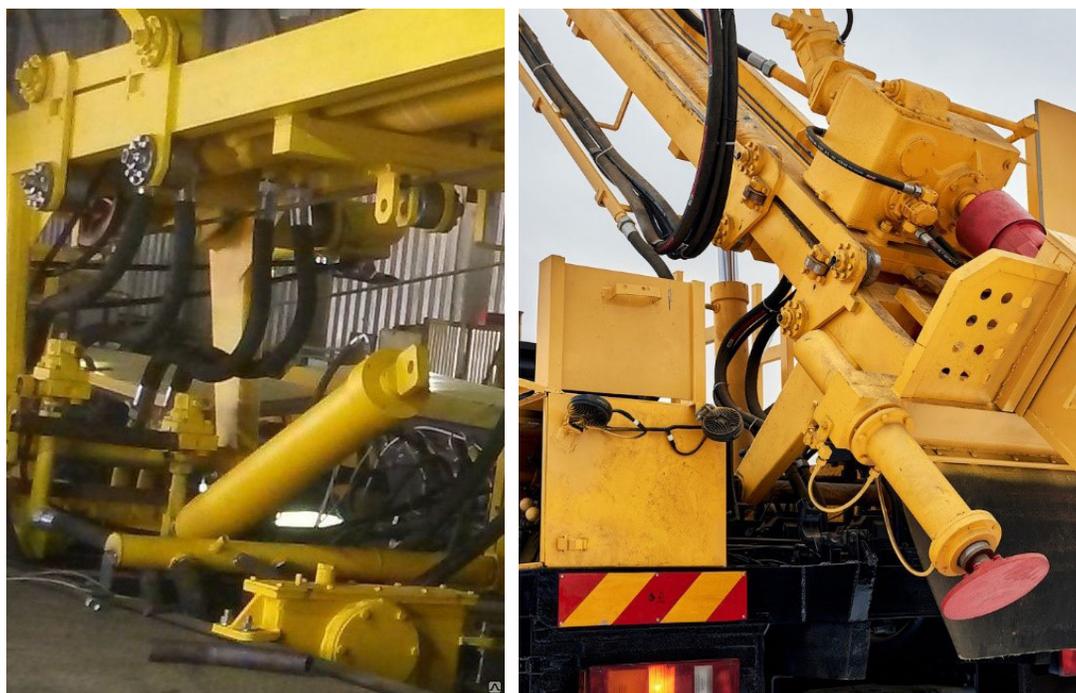
### Введение

На данный момент в Республике Саха (Якутия) активно проводятся геологоразведочные работы, направленные на освоение и увеличение минерально-сырьевой базы страны. При этом основным методом разведки месторождений остаётся колонковое бурение с отбором керна. Из-за большого размера территории региона и повсеместного распространения многолетне-мёрзлых пород передвижение тяжёлой техники летом невозможно: в это время года верхние слои вечной мерзлоты тают, а дорог нет. Поэтому буровые работы на северо-востоке России проходят сезонно, преимущественно зимой, когда почва и реки скованы льдом.

Суровый климат Якутии, с его зимними температурами до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  и повсеместным распространением вечной мерзлоты, создаёт крайне неблагоприятные условия для бурения геологоразведочных скважин. Главные трудности при работе в зимний период в Республике Саха (Якутия) связаны с тем, что температурный режим скважины не соответствует условиям бурения, а характеристики бурового оборудования не подходят для эксплуатации в таком климате. [3, 4, 6].

### Особенности эксплуатации буровых установок в зимний период

Опыт бурения геологоразведочных скважин в зимний период на территории Северо-Востока России на протяжении многих лет выявил ряд серьезных проблем, связанных с отрицательными температурами окружающей среды. Одной из наиболее распространенных проблем являются осложнения, возникающие из-за герметичности рукавов высокого давления (РВД) (рис. 1).



**Рис. 1.** Места, где рукава высокого давления с наибольшей вероятностью могут выйти из строя во время различных вспомогательных работ

**Figure 1.** Places where high-pressure hoses are most likely to fail during various auxiliary works

Рукава, как правило, изготавливаются из резины и других полимерных материалов, которые при температуре ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  теряют свои упругие свойства и становятся более хрупкими [1; 3; 4]. Это может привести к их разрывам и утечкам, что, в свою очередь, создает серьезные риски для безопасности. Проблема обрыва рукавов высокого давления не только приводит к утечке гидравлического масла, но и может вызвать поломку оборудования, что негативно сказывается на производственном процессе. В условиях сурового климата, где ремонт и замена оборудования могут занимать значительное время, такие инциденты могут привести к значительным финансовым потерям и задержкам в выполнении работ. Кроме того, ситуации, связанные с утечками, могут представлять опасность для здоровья и жизни рабочего персонала.

Рукава высокого давления (РВД), изображенные на рис. 2, представляют собой сложные инженерные изделия, предназначенные для передачи жидкостей под высоким давлением в различных механизмах. В отличие от обычных гибких труб, РВД обладают значительно большей прочностью и износостойкостью, достигаемой за счет многослойной конструкции. Посредством РВД передаётся не только усилие, но и энергия. Их применяют для перемещения разных рабочих жидкостей: гидравлических масел (минеральных, синтетических, биоразлагаемых), топлива для двигателей, водных растворов, эмульсий «масло – вода», а также специальных жидкостей для разных производственных процессов. [6].



**Рис. 2.** Рукав высокого давления (РВД) представляет собой гибкий сегмент трубопровода. Он используется в гидравлических системах для соединения подвижных компонентов и подачи к ним рабочих жидкостей

**Figure 2.** The high-pressure hose (HVD) is a flexible segment of the pipeline. It is used in hydraulic systems to connect moving components and supply working fluids to them

Конструкция рукава высокого давления зависит от его функций и условий эксплуатации. Он работает в агрессивной среде под большим давлением.

Из-за постоянных температурных колебаний гидравлическое масло в резервуаре буровой установки образует конденсат на внутренних стенках ёмкости. С каждым циклом замерзания и оттаивания жидкости объём конденсата растёт. В результате в гидравлической системе буровой установки накапливается много воды, что может привести к сбоям в работе соединений и компонентов системы.

Увеличение количества подобных аварий связано с тем, что ключевые детали буровой установки быстрее приходят в негодность. Кроме того, оборудование требует частого техобслуживания, а покупка запчастей обходится дорого. Всё это усложняет работу персонала и ухудшает технико-экономические показатели бурения.

Чтобы предотвратить аварийные ситуации, сотрудникам необходимо регулярно проверять состояние элементов гидравлической системы буровой установки.

Практика геологоразведочных работ в условиях Крайнего Севера показала, что из-за отсутствия специальных защитных конструкций для ключевых компонентов гидравлической системы самоходных буровых установок многим предприятиям приходится останавливать работу при температуре ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ . Это может привести к невыполнению производственных планов.

В процессе проведения исследования мы изучили многолетний опыт работы промышленных компаний, которые круглогодично занимаются буровыми работами на территории Республики Саха (Якутия). Основной буровой установкой для проведения геологоразведочных работ является УРБ-2А2 на базе автомобиля «Камаз» оборудованный винтовым компрессором. На сегодняшний день, благодаря своей универсальности и доступности данные буровые установки являются одними из самых распространенных в Российской Федерации и в основном используются при проведении геологоразведочных и инженерно-изыскательских работ.

УРБ-2А2 является полностью гидрофицированной буровой установкой, которая оборудована подвижным вращателем и подъемной мачтой. Все элементы гидросистемы станка соединены между собой посредством рукавов высокого давления (РВД) (Рис. 3), которые, как показывает практика являются самыми уязвимыми элементами гидросистемы, так как при эксплуатации они наиболее часто подвергаются различным механическим нагрузкам и негативному влиянию окружающей среды.

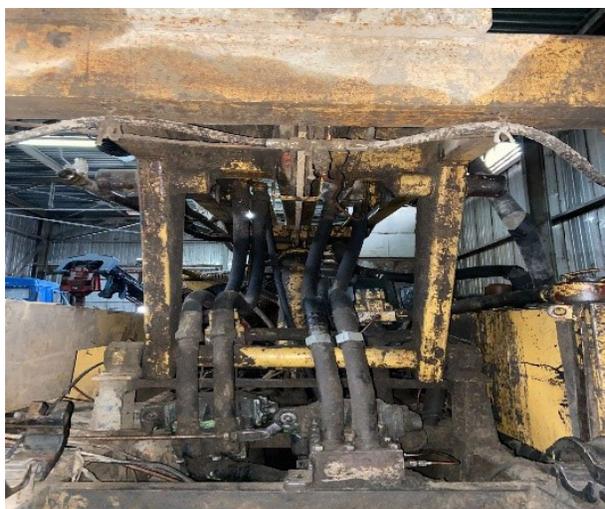


Рис. 3. Рукава высокого давления буровой установки УРБ-2А2

Figure 3. High-pressure hoses of the URB-2A2 drilling rig

В процессе эксплуатации гидрооборудования из-за высоких давлений и трения происходит нагревание рабочей жидкости, за счет этого явления поддерживается оптимальная температура в гидросистеме техники при температуре окружающей среды до  $-30$  С (зависит от состава гидравлического масла). При температуре воздуха ниже  $-40-50$  С эксплуатация гидрофицированной техники нежелательна даже при использовании специальных морозостойких гидравлических масел, так как при таких экстремальных температурах повышается вязкость масла, увеличивается потеря давления в гидравлической системе, увеличивается сопротивление гидравлическому потоку и трение подвижных соединений, затрудняется запуск гидропривода, теряются эластичные свойства резинового уплотнения и РВД. Все вышеперечисленные осложнения существенно повышают вероятность отказа гидрооборудования [1-5].

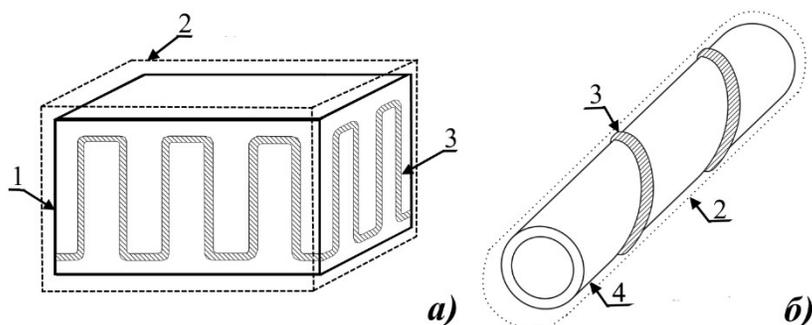
#### **Способ утепления гидросистемы самоходных буровых установок**

В качестве способа профилактики и борьбы с проблемой замерзания гидравлической системы нами рассматривается способ утепления гидрооборудования бурового станка теплоизолирующими материалами. Мы считаем, что за счет теплоизоляции маслобака и рукавов высокого давления возможно значительно повысить эффективность гидравлического оборудования зимой, из-за высокой теплопроводности резиновых и металлических компонентов гидравлической системы тепло, выделяющееся при использовании гидравлического масла, не сразу попадает в окружающую среду.

Мы предлагаем идею создания теплозащитного устройства для гидросистемы, которая базируется на использовании саморегулирующихся греющих кабелей и теплоизоляционного материала.

Принцип работы саморегулирующегося кабеля основан на свойствах «саморегулирующихся» полупроводниковых резисторов, которые реагируют на температуру окружающей среды. При понижении температуры сопротивление уменьшается, что приводит к увеличению тока и мощности нагрева. Важной и полезной характеристикой этого кабеля является возможность обрезки от 20 см. до любой длины, что позволяет легко увеличивать или укорачивать его.

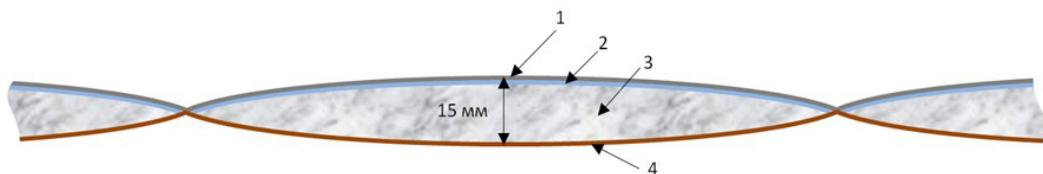
Нужно обмотать резервуар для масла буровой установки кабелем по всей площади (см. рис. 4, а). Затем следует покрыть его плотным теплоизоляционным материалом. Греющий кабель от резервуара необходимо проложить вдоль рукава высокого давления поверх обмотки (см. рис. 4, б).



**Рис. 4.** Теплоизоляция резервуара гидравлической системы с помощью греющего кабеля (а) и рукавов высокого давления (б): 1 – резервуар; 2 – теплоизоляционное покрытие; 3 – греющий кабель; 4 – рукава высокого давления

**Figure 4.** Thermal insulation of the reservoir of the hydraulic system using a heating cable (a) and high – pressure hoses (b): 1 – tank; 2 – thermal insulation coating; 3 – heating cable; 4 – high-pressure hoses

Для более эффективной теплоизоляции гидравлических шлангов и оборудования предлагается использовать четырёхслойный теплоизоляционный материал (рис. 5).



**Рис. 5.** Структура теплоизоляционного материала включает четыре слоя: 1 – наружный; 2 – водонепроницаемый; 3 – промежуточный; 4 – внутренний

**Figure 5** The structure of the thermal insulation material includes four layers: 1 – external; 2 – waterproof; 3 – intermediate; 4 – internal

Для исследования теплоизоляции рукавов высокого давления мы провели математическое моделирование взаимодействия рукавов с окружающей средой. На рисунке 6 представлена расчетная область, которая состоит из трех подобластей:  $v_1$  – масло,  $v_2$  – труба,  $v_3$  – изоляция. Для определения распределения температуры  $T$  будем решать уравнение теплопроводности [6]:

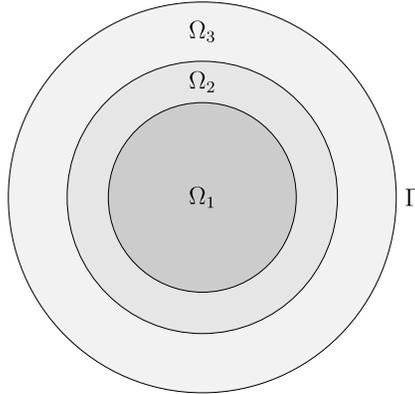


Рис. 6. Расчетная область

Figure 6. Calculation area

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (\lambda \nabla T) = 0, \quad x \in \Omega. \tag{1}$$

Здесь,  $c$  – удельная теплоемкость,  $\rho$  – плотность,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, которые определяются как

$$c(x) = \begin{cases} c_1, & x \in \Omega_1, \\ c_2, & x \in \Omega_2, \\ c_3, & x \in \Omega_3, \end{cases} \quad \rho(x) = \begin{cases} \rho_1, & x \in \Omega_1, \\ \rho_2, & x \in \Omega_2, \\ \rho_3, & x \in \Omega_3, \end{cases} \quad \lambda(x) = \begin{cases} \lambda_1, & x \in \Omega_1, \\ \lambda_2, & x \in \Omega_2, \\ \lambda_3, & x \in \Omega_3, \end{cases}$$

где нижние индексы 1, 2 и 3 обозначают свойства масла, резины и изоляции, соответственно. Также, уравнение (1) необходимо дополнить граничными и начальными условиями. На границе будет происходить конвективный теплообмен с окружающей средой

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha(T - T_{out}), \quad x \in \Gamma_1, \tag{2}$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплообмена,  $T_{out}$  – температура окружающей среды. Начальная температура равна

$$T = T_0, \quad x \in \Omega. \tag{3}$$

Для численного решения задачи (1) – (3) мы будем использовать метод конечных элементов [7]. Программная реализация проводится на вычислительном пакете FEniCS [8]. Данный пакет позволяет автоматизировать численное решение дифференциальных уравнений с помощью метода конечных элементов. Геометрическая область и расчетная сетка (рис. 7) построены на программе Gmsh. Все используемые в исследовании программы являются бесплатными и свободно распространяемыми.

В первую очередь, проведено моделирование остывания трубы без теплоизоляции и с теплоизоляцией в течение одного часа. Начальная температура гидравлического масла принята равной  $T_0 = 30$  °С, температура окружающей среды –  $T_{out} = -50$  °С. Наружный диаметр трубы равен 46 мм, толщина стенки 7 мм. Материал трубы – резина. В качестве теплоизолятора взяли минеральную вату с толщиной 10 мм. Теплофизические свойства масла, резины и изоляции представлены в таблице 1. Расчеты проведены с шагом по времени 1 минута в течение 1 часа (60 шагов по времени).

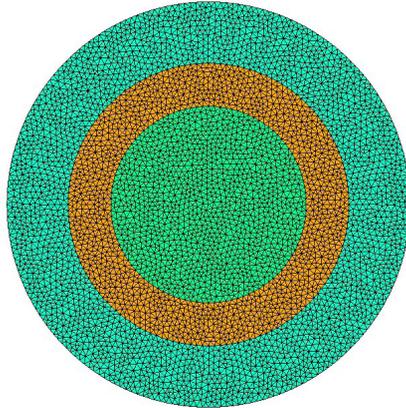


Рис. 7. Расчетная сетка

Figure 7. Calculation grid

Таблица 1 – Теплофизические свойства

Table 1 – Thermophysical properties

Материал	$c$ , Дж/(кг · °С)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/(м · °С)	$\alpha$ , Вт/м <sup>2</sup> · °С
Масло	1860	870	0.1333	-
Резина	1420	1500	0.175	65
Изоляция	920	50	0.0356	3

Результат расчета показан на рисунке 8, распределение температуры показано слева без теплоизоляции через 1 час, справа – с теплоизоляцией. Видно, что без изоляции масло полностью замерзает и его температура будет равна  $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Когда РВД покрыт теплоизоляционным материалом масло не замерзнет, а температура за 1 час падает до  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На рисунке 9 показана изменение максимальной температуры масла в течение часа. Синяя сплошная линия показывает распределение температуры с изоляцией, оранжевая пунктирная линия – без изоляции. Видно, что без изоляции масло замерзнет в течение 20 минут.

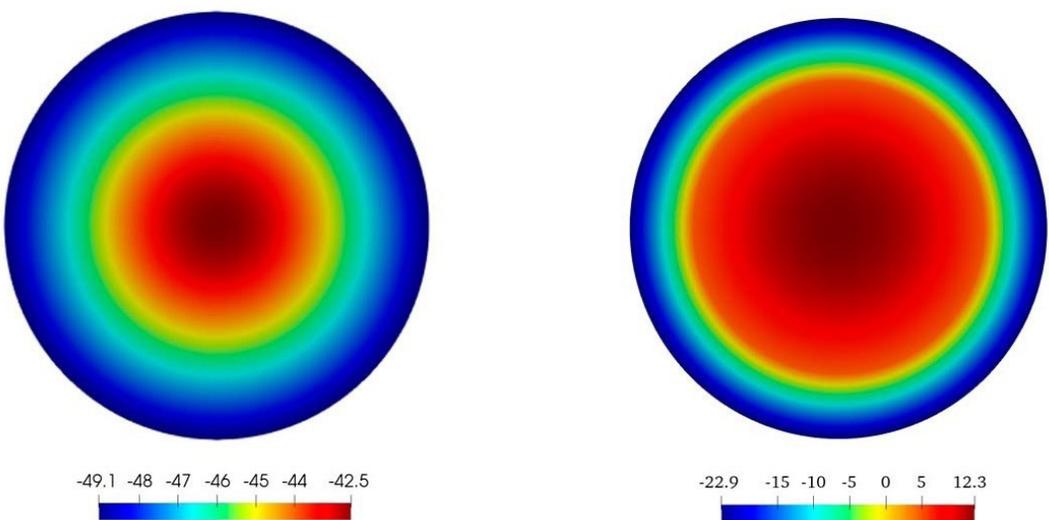


Рис. 8. Распределение температуры без изоляции (слева), с теплоизоляцией (справа)

Figure 8. Temperature distribution without insulation (left), with thermal insulation (right)

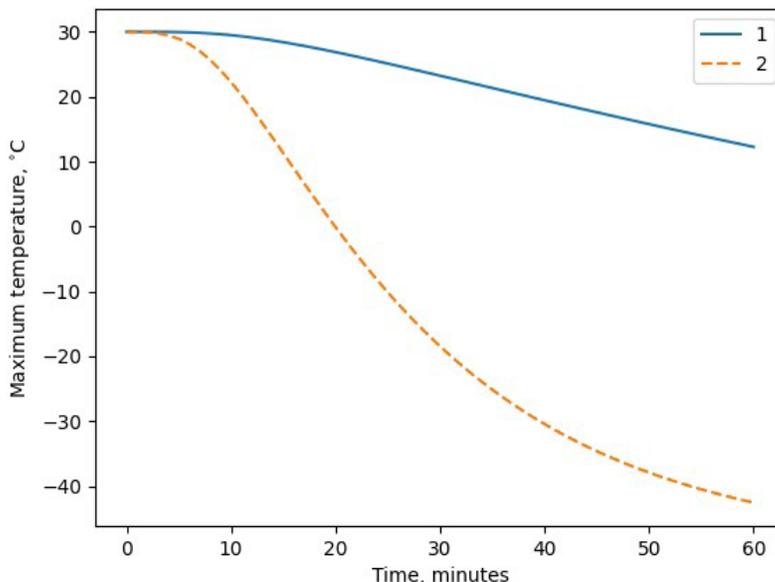


Рис 9. Максимальная температура масла по времени: 1 – с изоляцией, 2 – без изоляции

Figure 9. Maximum oil temperature in time: 1 – with insulation, 2 – without insulation

### Заключение

Учитывая существующую тенденцию увеличения геологоразведочного бурения в районе Крайнего Севера и актуальность исследований по этой теме, мы планируем продолжить теоретические и экспериментальные работы. Мы считаем, что повышение технико-технических характеристик оборудования в первую очередь достигается за счет их адаптации к условиям работы. При этом необходимо добиться нужного результата, без серьезных модификаций существующего оборудования и больших финансовых вложений. Так как, на наш взгляд именно при таком подходе можно добиться успеха в реалиях Севера-Востока и Арктики Российской Федерации.

Предложенный нами вариант борьбы с проблемой замерзания гидравлической системы отвечает всем выше представленным требованиям и является на наш взгляд практичным и экономичным. Результаты математического моделирования, проведенного в этой статье, доказывают, что изоляция гидравлического оборудования является эффективным способом борьбы с промерзанием гидравлической системы буровой установки. Следующим шагом является проведение испытаний способов решения предлагаемой проблемы на базе самоходной буровой установки УРБ-2А2 в зимних условиях Крайнего Севера.

### Литература

1. Шевченко, А. Н. Влияние температурного режима скважины на эффективность бурения мёрзлых массивов / А.Н. Шевченко. – Текст : непосредственный // Вестник ИрГТУ. – 2011. – № 11 (58). – С. 113-117.
2. Кудряшов, Б. Б. Бурение скважин в мерзлых породах / Б.Б. Кудряшов, А.М. Яковлев. – Москва : Недра, 1983. – 286 с. – Текст : непосредственный.
3. Кудряшов, Б. Б. Бурение скважин в условиях изменения агрегатного состояния горных пород / Б. Б. Кудряшов. – Ленинград : Недра, 1991. – 286 с. – Текст : непосредственный.
4. Кудрявцев С. А. Численные исследования теплофизических процессов в сезонно-мерзлых грунтах / С. А. Кудрявцев. – Текст : непосредственный // Криосфера Земли. – 2003. – Т. ПХ, № 4. – С. 102-104.
5. Джураев, Р. У. Анализ бурения скважин с продувкой воздухом / Р.У. Джураев, М. В. Меркулов. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2014. – С. 327-330.

6. Яркин, А. В. Повышение работоспособности рукавов высокого давления гидропривода при эксплуатации в суровых климатических условиях / А. В. Яркин, Ю. Г. Сысоев, А. Р. Крук [и др.] // Электронный научный журнал “Инженерный вестник Дона”. – 2014. – № 3. URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2512/>
7. Каверзин, С. В. Обеспечение работоспособности гидравлического привода при низких температурах / С. В. Каверзин, В. П. Лебедев, Е. А. Сорокин. – Красноярск. – 1998. – 240 с. – Текст : непосредственный.
8. Samarskii, A. A. Computational heat transfer / A. A. Samarskii, P.N. Vabishchevich. – John Wiley & Sons, 1995. – Text : unmediated.
9. Afanaseva, N. V. Numerical solution of the thermal influence of oil well cluster on permafrost / N.V. Afanaseva, A. E. Kolesov. – Text : unmediated // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1773, no. 1. – P. 110001.
10. Alnæs, M. S. The FEniCS Project Version 1.5 / M. S. Alnæs, J. Blechta, J. Hake, A. Johansson [et al.]. – Text : unmediated // Archive of Numerical Software. – 2015. – Vol. 3, no. 100. – P. 9–23.

### References

1. Shevchenko AN The influence of the temperature regime of the well on the drilling efficiency of frozen massifs. Bulletin of the IrSTU, 2011;11(58):113-117.
2. Kudryashov BB, Yakovlev AM. Drilling of wells in frozen rocks. Moscow: Nedra, 1983:286. (in Russian)
3. Kudryashov BB. Drilling wells in conditions of changes in the aggregate state of rocks. Leningrad: Nedra, 1991:286. (in Russian)
4. Kudryavtsev SA. Numerical studies of thermophysical processes in seasonally frozen soils. Cryosphere of the Earth, 2003;Vol.IIX,4:102-104. (in Russian)
5. Juraev RU, Merkulov MV. Analysis of drilling wells with air purging. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal), 2014:327-330. (in Russian)
6. Yarkin AV, Sysoev YuG, Kruk AR et al. Improving the efficiency of high-pressure hydraulic drive hoses during operation in harsh climatic conditions. Electronic scientific journal “Engineering Bulletin of the Don”, 2014;№ 3. Available from: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2512/>. (in Russian)
7. Kaverzin SV, Lebedev VP, Sorokin EA. Ensuring the operability of the hydraulic drive at low temperatures. Krasnoyarsk, 1998:240. (in Russian)
8. Samarskii AA, Vabishchevich PN. Computational heat transfer. John Wiley & Sons, 1995.
9. Afanaseva NV, Kolesov AE. Numerical solution of the thermal influence of oil well cluster on permafrost. AIP Conference Proceedings, 2016;Vol.1773,1:110001.
10. Alnæs MS, Blechta J, Hake J, Johansson A et al. The FEniCS Project Version 1.5. Archive of Numerical Software, 2015;Vol.3,100:9–23.

### Сведения об авторах

*ТАТАРИНОВ Дмитрий Михайлович* – ст. преп. каф. недропользование ГРФ, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: [dm.tatarinov@s-vfu.ru](mailto:dm.tatarinov@s-vfu.ru)

*TATARINOV Dmitry M.* – Senior Lecturer, Department of Subsoil Use, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*ЕГОРОВ Игорь Антонович* – ст. преп. каф. недропользование ГРФ, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: [igor.titr@gmail](mailto:igor.titr@gmail)

*EGOROV Igor A.* – Senior Lecturer, Department of Subsoil Use, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*ТРЕТЬЯКОВ Терентий Матвеевич* – студент каф. недропользование ГРФ, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: [Tretyakov\\_terentiy@mail.ru](mailto:Tretyakov_terentiy@mail.ru)

*TRETYAKOV Terentiy M.* – student, Department of Subsoil Use, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

О.Г. Третьякова<sup>1</sup>✉, А.В. Сычевский<sup>2</sup>, В.Ф. Попов<sup>1</sup>, И.В. Козлова<sup>3</sup>, Н.М. Третьякова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

<sup>2</sup>Министерство промышленности и геологии РС (Я), г. Якутск, Россия

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

<sup>4</sup>Институт агробиотехнологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

✉ og.tretiakova@s-vfu.ru

## АКСИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ СОЗДАНИЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

**Аннотация.** В исследовании рассмотрены история освоения богатств недр Республики Саха (Якутия), её огромный и разнообразный геолого-минералогический потенциал. Авторы анализируют существующие музеи, посвященные геологии и минералогии, а также выдвигают идею необходимости создания республиканского музея, отражающего историю геологоразведки и разработки минеральных ресурсов Якутии. Подчеркивается назревшая необходимость создания горно-геологического музея в г. Якутске, отражающего историю геологоразведки и разработки минеральных ресурсов РС (Я). Определена концепция музея, как мощного центра научно-просветительского образования и пространства культурного обмена общества, базирующаяся на аксиологической основе. Характеризуется его миссия как пропаганда и популяризации знаний о Земле, сохранение уникального геологического фонда республики, ориентирование и самоидентификация личности в мире ценностей.

**Ключевые слова:** горно-геологический музей, Якутск, аксиологическая основа, экспозиции, минералы, горные породы, полезные ископаемые, золото, нефть, газ, алмазы.

**Для цитирования:** Третьякова О.Г., Сычевский А.В., Попов В.Ф., Козлова И.В., Третьякова Н.М. Аксиологические основания создания горно-геологического музея Республики Саха (Якутия). *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 72–82. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-72-82

O.G. Tretyakova<sup>1</sup>✉, A.V. Sychevsky<sup>2</sup>, V.F. Popov<sup>1</sup>, I.V. Kozlova<sup>3</sup>, N.M. Tretyakova<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.K. Ammosov North Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup>Ministry of Industry and Geology of the Sakha Republic (Yakutia), Yakutsk, Russia

<sup>3</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

<sup>4</sup>Institute of Agrobiotechnology, K.A. Timiryazev Russian State Agrobiotechnological University, Moscow, Russia

✉ og.tretiakova@s-vfu.ru

## AXIOLOGICAL GROUNDS FOR THE CONSTRUCTION OF THE MINING AND GEOLOGICAL MUSEUM OF THE SAKHA REPUBLIC (YAKUTIA)

**Abstract.** The study deals with the history of exploration of the subsoil resources of the Sakha Republic (Yakutia), its huge and diverse geological and mineralogical potential. The authors analyse the existing museums devoted to geology and mineralogy, and put forward the idea of the necessity to create a large museum reflecting the history of geological exploration and development of mineral resources in the republic. The urgent need to create a mining and geological museum in Yakutsk, reflecting the history of geological exploration and development of mineral resources in the republic is emphasised. The concept of the museum as a powerful centre of scientific and educational education and a space of cultural exchange of society, based on axiological basis, is defined. Its mission as propaganda and popularisation of knowledge about the Earth, preservation of unique geological fund of the republic, orientation and self-identification of the person in the world of values is characterized.

**Keywords:** mining and geological museum, Yakutsk, axiological basis, expositions, minerals, rocks, minerals, gold, oil, gas, diamonds.

**For citation:** Tretyakova O.G., Sychevsky A.V., Popov V.F., Kozlova I.V., Tretyakova N.M. Axiological grounds for the construction of the mining and geological museum of the Sakha Republic (Yakutia). *Vestnik of NEFU. Earth Sciences*. 2024, № . 4. Pp. 72–82. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-72-82

### Введение

Республика Саха (Якутия) с населением свыше 1 млн человек и площадью 3103,2 тыс. км<sup>2</sup>, расположенная на наиболее холодной северо-восточной окраине Сибири, сегодня стала важнейшим минерально-сырьевым и горнодобывающим регионом Российской Федерации. Ее столица город Якутск – крупный город на вечной мерзлоте; его население постепенно приближается к 400 тыс. человек. Отсчёт жизни города берёт начало с 1632 года, когда Пётр Бекетов основал Ленский острог. Именно отсюда без малого 400 лет назад отряды первопроходцев направлялись в далёкие земли и моря. Семён Дежнёв открыл для России и мира Чукотку, Владимир Атласов – Камчатку. Итогом походов Петра Бекетова, Василия Пояркова и Ерофея Хабарова стало вхождение в состав Российской империи Забайкалья, Даурии и Приамурья. Витус Беринг своими великими географическими открытиями дал нашему государству путь в два океана.

В городе Якутске сегодня существуют небольшие ведомственные музеи геолого-минералогической направленности: Геологический музей Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (основан в 1958 г.), Минералогический музей СВФУ (1970) (рис. 1), Геологический музей ГУП «Сахагеоинформ» (1974), Музей мамонта им. П.А. Лазарева (1991), Сокровищница Республики Саха (Якутия) (1992). В определенной мере они решают задачи знакомства с геологией республики, образования и науки. Однако история геологического изучения территории республики и ее горнопромышленного освоения, геологическое строение и богатства недр определяют необходимость и ценность организации крупного музея горно-геологического направления, отражающего историю возникновения и развитие горно-производственной специализации республики в городе Якутске.

Город Якутск функционирует в историческом времени, но месторождения с помощью современных горнодобывающих технологий фактически могут быть выработаны за полвека, после чего останутся лишь заброшенные карьеры и поселки. Если речь идет об уникальных



Рис. 1. Центральная витрина минералогического музея ГРФ СВФУ

Figure 1. The central showcase of the Mineralogical Museum of the FGS NEFU

месторождениях, таких полезных ископаемых, как хромдиопсид, чароит или дианит, тогда за очень короткий срок их не останется в природе, они будут находиться лишь в частных коллекциях, или выставленные в качестве заблаговременно приобретенных образцов в минералогических музеях. Впрочем, любое месторождение уникально, поскольку за ним стоит труд геологов и горняков, интересы государства, в том числе стратегического характера.

Выставленный в музее уникальный предмет приобретает новый статус, становится «единицей хранения», «предметом музейного значения». Сохраняя и выставляя на выставках подобные артефакты из прошлого, музей выполняет важную культурную и моральную миссию – вносит вклад в создание исторической памяти о наиболее значимых для нашей страны событиях. Первые сведения о природе и полезных ископаемых Якутии известны по «сказам» землепроходцев XVII века, П.И. Бекетова, основавшего г. Якутск в 1632 году, М.В. Стадухина, В.Т. Атласова, С.И. Дежнева, Е.Ю. Буза, В.Д. Пояркова, Е.П. Хабарова и других. Первым полезным ископаемым Якутской земли стала жизненно необходимая в то время соль, которую казаки добывали с 1639 года на Кемпендяйских соляных источниках. Позже эта соль до середины XIX века обеспечивала весь Охотский край. В настоящее время у села Кемпендяй Сунтарского района функционирует завод по производству пищевой соли, мощностью порядка 5 тыс. тонн в год.

В исторических летописях, дошедших до наших дней, упомянуто донесение воеводы В.Н. Пушкина в Москву о том, что «якуты плавят железо из каменьев». Позже в окрестностях г. Якутска стали выплавлять кричное железо, а в 1735 г. был построен Тамгинский «железодельный» завод, обеспечивающий железом (гвозди, скобы, цепи, якоря и пр.) морскую экспедицию Витуса Беринга. Завод работал около 50 лет до 1782 года [1,2].

В XVIII-XIX веках исследования в Якутии приобретают научно-практический характер. Открыты и разработаны месторождения серебра, свинца, железа, угля, золота, найдены проявления нефти. На рубеже XIX-XX веков появляются сводные геологические обобщения И.Д. Черского, А.Л. Чекановского, Э. Зюсса, И.П. Толмачева, В.С. Реутовского, П.Л. Драверта, А.Г. Ржонсницкого, С.С. Кузнецова.

С установлением советской власти в Якутии организовываются предприятия, занимающиеся разведкой и добычей полезных ископаемых. Наиболее известны – Якутзолото, Индигирская ГРЭ, Джугдгурзолото, Алданзолото, Дальстрой, Якутское отделение Союзникельоворазведка. В это время ежегодно в поле направлялись порядка ста геолого-съёмочных, поисковых и геологоразведочных партий, которыми открыты десятки месторождений: золота, олова, серебра, слюды и горного хрусталя. В конце 1920-х – начале 1930-х годов А.Д. Архангельским и Н.С. Шатским проведены геологические исследования и сделаны первые прогнозы нефтегазоносности Якутии. В 1941 г. академик Академии наук СССР В.С. Соболев заявил о необходимости проведения поисковых работ алмазов в бассейне р. Вилюй [1].

Открытие партий Г.Х. Файнштейна в 1949 г. россыпью алмазов на р. Вилюй послужило началом планомерного и системного геологического изучения всей территории Западной Якутии, которое в 1954-1955 гг. привело к открытию коренных месторождений алмазов – первенца кимберлитовой алмазной трубки Зарница, и далее – уникальных месторождений кимберлитовых трубок «Мир» и «Удачная».

В 1950-е годы в Якутии открыты крупнейшие золоторудные месторождения – Нежданинское и Куранахское; месторождение коксующихся углей – Нерюнгринское; Вилюйское газоконденсатное месторождения и Лено-Вилюйская нефтегазоносная провинция. Перспективы дальнейшего наращивания минерально-сырьевой базы вызвали потребность в высококвалифицированных кадрах, с 1956 года берет свое начало высшее геологическое образование в Якутском государственном университете. В 1957 году СССР для координации работ геолого-съёмочных партий и экспедиций создаются Якутское геологическое управление, подчиненное Министерству геологии и Институт геологии Якутского филиала СО АН СССР [2]. Наибольшего размаха геологоразведочное производство достигло в середине 1980-х годов XX века, в это время штат

предприятий ПГО Якутскгеология и Ленанефтегазгеология достигал порядка 31 тысячи человек, а в целом изучение недр обеспечивали более 35 тысяч специалистов геологов, геофизиков, буровиков, горных инженеров.

В конце 1980-х и в 1990-е годы геологоразведочный комплекс страны понес значительный урон, в разы уменьшившееся финансирование значительно сократило объемы проводимых работ. Следует отметить, что региональные геологоразведочные работы с 1992 по 2004 годы проводились за счет средств республиканского бюджета. Была сохранена преемственность поколений геологов производственников и высокий уровень геологоразведочных работ. В 1989 году якутскими геологоразведчиками было открыто Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение, в 1994-1996 гг. – алмазонасные кимберлитовые трубки Ботуобинская и Нюрбинская, в 1999 году завершены разведочные работы на уникальном редкометальном месторождении Томтор.

В настоящее время на государственном балансе РС (Я) учтено более 2,5 тысяч месторождений полезных ископаемых на 59 видов минерального и углеводородного сырья [3]. Потенциал для прироста минерально-сырьевой базы остается значительным, в частности выявлено более 16 тысяч проявлений полезных ископаемых, ожидающих детальных изыскательских работ и геологических исследований.

Действительно, уже на заре становления Советского государства в 1924 г. был организован первый Якутский государственный золотопромышленный трест на алданских золотых приисках, с которого началось развитие горнодобывающей промышленности в Якутии. В настоящее время на территории республики работает порядка 60 золотодобывающих предприятий, среди них крупные холдинги страны и компании: Полюс, Полиметалл (рисунок 2), NordGold, Селигдар, Нерюнгри-Металлик, Полюс Алдан, Тарынская золоторудная компания, Южно-Верхоянская горнодобывающая компания и другие.



**Рис. 2.** Витрина представительных образцов, переданных ЯФ АО «Полиметалл УК» в коллекцию минералогического музея ГРФ СВФУ

**Figure 2.** The showcase of representative samples transferred by Polymetal to the to the collection of the Mineralogical Museum of FGS NEFU

В 2023 году Республика Саха (Якутия) заняла второе место по добыче золота в России добыв 50 т. золота. По добыче серебра республика занимает третье место в стране, по добыче олова – второе место, по добыче сурьмы – первое место. В прошлом году началась добыча железной руды на Сиваглинском месторождении Якутской рудной компанией, входящей в группу Мечел, и по прогнозным данным проектная мощность составит 1,2 млн. т. руды в год [4]. В Якутской алмазоносной провинции, расположенной в центральной и северо-западной части Сибирской платформы, компаниями АЛРОСА (ПАО) и ее дочерним предприятием АО Алмазы Анабара ведутся работы по добыче алмазов, объем которых превышает четверть мирового рынка. В этой связи следует отметить действующий, единственный в мире, музей кимберлита в г. Мирном, созданный амакинским геологом Д.И. Саврасовым, который в настоящее время носит его имя.

Не менее значимым для республики является музей открытия месторождений алмазов в селе Крестях Сунтарского района, который был создан в память находки первого алмаза на Косе Соколиной геологом Григорием Файнштейном, благодаря упорной и кропотливой, поистине, подвижнической деятельности замечательного человека – простой сельской учительницы Марфы Христофоровны Конобуловой. Сегодня музей – гордость Крестяха, потому что в нем хранятся артефакты – личные вещи и документы первооткрывателей якутских алмазов.

История добычи энергоресурсов в Якутии начинается с Кангаласского месторождения бурого угля, открытого И. Гмелиным в 1736 году на Сургуевом камне. В 1787-1791 годах было добыто 2 тысячи пудов угля, отправленных в г. Охотск для нужд экспедиций И. Биллингса и Г.А. Сарычева. Однако полномасштабное становление угольной промышленности Якутии связывают с началом открытия и разработкой в 1928 году Сангарского месторождения каменного угля, обеспечившего топливную базу речного пароходства, а также предприятий и населения Центральной Якутии. К тому времени в г. Якутске уже была образована Якутская горнотехническая контора при управлении Якутского горного округа. И вскоре на карте республики появились новые точки разведки и добычи угля – Ленское, Тунгусское, Южно-Якутское, Зырянское, Кангаласское и другие месторождения. На территории республики расположен самый крупный по ресурсам угля в мире – Ленский угольный бассейн, занимающий площадь около 0,5 млн. км<sup>2</sup>. Но наиболее важным для экономики является Южно-Якутский угольный бассейн, запасы которого представлены высококачественными коксующимися углями. Здесь на Нерюнгринском угольном месторождении в 1967 году был поднят первый ковш угля с пласта «Мощный», в настоящее время добыча ведется холдинговой компанией Якутуголь (70 % добычи угля в Якутии). В целом на территории Республики Саха (Якутия) действуют более десяти угледобывающих предприятий в восьми районах, по объему добычи угля Якутия входит в тройку лидеров среди регионов страны. Уникальное Эльгинское угольное месторождение, открытое одним из последних, на рубеже веков, поражает колоссальными запасами коксующихся углей и позволило вдохнуть жизнь в «медвежий уголь» республики – Токинский угольный район с уникальным водным ресурсом – малым якутским Байкалом – озером Большое Токо.

Первое Усть-Вилуйское месторождение газа в Якутии было открыто в 1956 году, когда 15 октября из скважины с глубины 1800-2000 м ударил мощный фонтан природного газа с дебитом более 4 млн м<sup>3</sup> в сутки. Оно положило начало развитию якутской нефтегазовой отрасли. В последние годы советского периода в Якутии началась разработка нефтяных месторождений, которая во второй половине 1980-х годов в ходе перестройки и распадом СССР почти прекратилась. С начала XXI века на территории Лено-Вилуйской и Лено-Тунгусской нефтегазоносных провинций осуществляется бурное развитие нефтегазовой промышленности, введены в эксплуатацию магистральный нефтепровод «Восточная Сибирь – Тихий океан» (ВСТО) и магистральный газопровод «Сила Сибири». В настоящее время фактически сформирован новый центр нефтегазодобычи на Востоке России. Недропользователями являются компании Сургутнефтегаз, Роснефть, Газпром, Якутская топливно-энергетическая компания, Сахатранснефтегаз, Тас-Юрях Нефтегазодобыча, Газпромнефть Ангара, Иркутская нефтяная компания и другие.

Следует отметить, что в настоящее время на средства недропользователей выполняется до 90 % геологоразведочных работ, производимых на территории Республики Саха (Якутия), до 10 % работ средства выделяются из федерального бюджета, 1 % – из республиканского бюджета. В целом, общее финансирование геологоразведочных работ в последние годы составляет 20 – 30 млрд. рублей [3].

В последние годы значительно вырос интерес к атомной энергетике. Политическая и экономическая ситуация в настоящее время обусловила увеличение цены на уран более чем в два раза. В связи с этим растет интерес к освоению месторождений Эльконского урановорудного района, открытого в начале 1960-х годов и разведанного к началу 80-х годов. Запасы урана здесь составляют 52,9 % (382,8 тыс. т.) от общероссийских, что относит его к крупнейшим в мире [5].

Интенсивное развитие высокотехнологичных отраслей определяет в современном мире острую необходимость и постоянный рост потребности в редкоземельных металлах. На северо-западе Якутии в бассейне реки Анабар в 1959 году геологами Э.Н. Эрлихом и С.А. Гулиным был открыт массив Томтор, с которым связано уникальное ниобий-редкоземельное месторождение – одно из крупнейших в мире по запасам редкоземельных минералов. В музее можно было бы показать не только историю открытия месторождения, уникальные экспонаты с рудами, неизвестными во всем мире, но и перспективы его дальнейшего освоения.

На территории Якутии известны месторождения и проявления многих видов неметаллических ископаемых, некоторые из них подготовлены к промышленному освоению, в частности месторождения апатита, графита, вермикулита. Особое место в этом ряду занимает камнесамоцветное сырье – месторождения хромдиоксида, аметиста, граната, хризолита, топаза, а также ювелирно-поделочных камней, прежде всего чароита, нефрита, везувианита, дианита, горного хрусталя, агатов и других.

Чароит – красиво переливающийся от нежно-сиреневого до темно-фиолетового цвета камень является уникальным минералом эндемиком, запасы которого в единственном месторождении по самой низкой категории сортности оцениваются в первые десятки тысяч тонн. Таким образом, чароит – самый редкий и экзотический самоцвет на планете, квота добычи которого составляет 100 т. в год [6].

Редчайшим минералом с различными оттенками синего цвета является дианит, обнаруженный в 1997 году и названный сотрудниками СО РАН в честь принцессы Дианы, трагически погибшей практически в дни открытия этого минерала.

В 2022 году сотрудниками Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, Ферсмановского минералогического музея РАН и геологами Якутскгеологии был открыт минерал амгаит [7]. Исследователи из Санкт-Петербургского университета и Кольского научного центра РАН открыли сергейсмирновит, названный в честь академика Сергея Сергеевича Смирнова и батагаит, названный в честь поселка Батагай рядом с которым он и был найден [8].

Стоит упомянуть поделочные камни, такие как мраморный оникс, офиокальцит, кремнистые доломиты, окаменелое дерево и мамонтовая кость, ресурсы которой в республике Саха (Якутия) составляют порядка 450 тыс. т. Бивни мамонта и другие окаменелые останки мамонтовой фауны являются исключительным палеонтологическим коллекционным материалом, который отнесен к полезным ископаемым и является объектом повышенного интереса и собирательства. Ежегодно в России, в основном в Республике Саха (Якутия), добывается от 100 до 150 т. мамонтовой кости [9]. В г. Якутске в Северо-Восточном федеральном университете им. М.К. Аммосова организован Музей мамонта им. П.А. Лазарева, лаборатория которого – специализированное научное и культурное учреждение, занимающееся исключительно изучением мамонта, мамонтовой фауны, природной среды ее обитания в ледниковом периоде и распространением научных знаний среди населения.

В Якутии известны отложения практически всех геологических эпох. В бассейне реки Вилюй в районе ручья Тээтэ было обнаружено местонахождение динозавровой фауны позднеюрского и раннемелового возраста. Здесь найдены окаменевшие останки рыб, черепов, ящеров, анкилозавров, теропод, завропод, стегозавров, среди них обнаружены древние родственники млекопитающих – цинодонтов, новый вид которых назван в честь известного якутского палеонтолога П.Н. Колосова – трилодонт *Stereognathus (Xenocretosuchus) kolosovi* [10].

В южном Верхоянье хорошо сохранились весьма редкие в мире обнажения с непрерывными последовательностями морских отложений пермий и триаса, что позволяет изучать геологические события, связанные с самым крупным массовым вымиранием, разграничивающих два крупных геохронологических этапа – палеозоя и мезозоя. Эту границу можно установить по появлению в разрезе аммонитов *Otocerasboreale* [11].

Наиболее значимыми являются опорные разрезы на территории Якутии, связанные с кембрийской системой. Так, в общепризнанной геохронологической (стратиграфической) шкале России приняты следующие ярусы (снизу вверх): томмотский (Tommotian), атдабанский (Atdabanian), ботомский (Botomian), тойонский (Toyonian), амгинский (Amginian), майский (Mayan), аюсокканский (Ayusokkanian), сакский (Sackian), аксайский (Aksayan), батырбайский (Baturbayan). Эти ярусы широко применяются в геологических исследованиях и построениях во всей Евразии (России, Казахстане и Западной Европе).

По этим, теперь уже международно-признанным геохронологическим названиям очевидно, что многие ярусы названы по местностям на территории Якутии, и для них существуют реальные природные объекты – опорные эталонные разрезы. Благодаря геохронологической шкале восстанавливается последовательность геологической истории и органического мира, возможны построения геологических карт и разрезов, выявления геологических закономерностей, поиск и разведка полезных ископаемых.

Не менее интересным является докембрий, который называют временем скрытой жизни. В частности, на юго-западе Якутии, на левобережной террасе реки Лены в Нохтуйском опорном разрезе обнажаются в виде моноклинали с крутым падением слоев горные породы неопротерозоя (верхнего рифея и венда-эдиакария), а также нижнего кембрия. В породах встречаются древнейшие строматолиты, микрофитолиты и раннекембрийские трилобиты [12]. Пристальное внимание к стратиграфии кембрия и венда связано с тем, что их изучение позволяет открывать новые месторождения нефти и газа. В частности, выявленные П.Н. Колосовым закономерности геоструктурного распространения вендских отложений позволили спрогнозировать перспективность ботубинского горизонта песчаников на углеводороды, что привело к открытию Чаяндинского месторождения [13].

Тематическая структура горно-геологического музея требует концептуальной разработки на основе ценностной парадигмы. Исходя из вышесказанного она может быть весьма разнообразной. Например, планируется создание в г. Якутске музея кембрия, однако геологическое строение Якутии может обеспечить освещение экспозициями тринадцать геохронологических периодов, начиная с неопротерозоя и заканчивая четвертичным периодом (квартером). Экспозиции минералов и горных пород могут быть разбиты на десятки тематических подразделений, связанных с их классификацией, использованием, местоположением, ценностью или даже магическими характеристиками, принятыми в той или иной культуре. Основопологающей частью музея должны быть месторождения Якутии, труд геологов, обнаруживших их, а также горняков, добывающих для Родины полезные ископаемые. Возможен целый ряд экспозиций, освещающих целые направления добычи ценного сырья: алмазы, золото, серебро, уголь, нефть, газ, сурьма, олово, уран, железо, строительные материалы и другие. Здесь важными аспектами является освещение и история геологического изучения, а также развитие горнодобывающей промышленности РС (Я), ее роль в жизни страны в разные периоды (в частности, в годы Великой Отечественной войны), демонстрация перспектив – музейный комплекс должен быть

нацелен на будущее. Музейная работа над экспозициями дает возможность осмысления тяжелого и самоотверженного труда многих поколений геологов и горняков, их памяти, сохранения наследия горно-геологической отрасли в Якутии.

В этой связи в музее следует показать роль работников транспортного комплекса, доставлявших грузы и стройматериалы при возведении поселков и предприятий для развития горно-геологической отрасли. Соответственно, музейная работа требует вовлечения не только специалистов геологов и горняков, но и гуманитариев, прежде всего, музеологов и историков. Поэтому в данном музее должны быть собраны не только экспонаты – образцы естественной природы, но и артефакты – предметы, созданные руками человека, а также письменные источники, представляющие историческую ценность. Таковы реалии современной музейной сферы, характеризующиеся не только расширением ее сети в мире, но глубокой трансформацией ее функций.

Не удивительно, что в Международном комитете по музеологии много лет велась острая дискуссия по новой дефиниции понятия «музей», и 24 августа 2022 года было принято следующее его определение: «Музей – это некоммерческая, постоянно действующая организация на службе обществу, которая исследует, собирает, сохраняет, интерпретирует и демонстрирует материальное и нематериальное наследие».

Открытые для публики, доступные и инклюзивные музеи способствуют разнообразию и устойчивости. Они действуют и общаются этично, профессионально и с участием сообществ, предлагая разнообразный опыт для получения образования, удовольствия, размышлений и обмена знаниями». Музеи в Российской Федерации создаются в форме учреждений для осуществления культурных, образовательных и научных функций некоммерческого характера.

В настоящее время музеи все в большей степени интегрируются в систему общества, сохраняя свой статус особого пространства, в котором оживает история и происходит погружение в прошлые столетия и эпохи. Определенные трудности, возникающие в музейной сфере, заставляют пересматривать их концепцию, искать новые пути идентификации и востребованности в современном мире. Для сохранения своей социокультурной специфики перед музеями в новых условиях ставится задача не только сохранения социокультурного наследия, но и его трансляции, вовлечения в экспозиции интерактивного компонента. Музей становится механизмом преодоления и культурно-экологического кризиса, институтом преемственности и устойчивого развития.

*Аксиологический компонент* в сфере музееведения очень важен. Он позволяет определить культурную ценность отбираемых для хранения и экспозиций объектов. При этом возрастает роль и ответственность музея как социального института в деле воспитания подрастающего поколения, поддержке традиционных культурных ценностей, их преемственности и воспроизводства национального мировоззрения.

Новые времена стимулируют расширение функций музея и использование новых возможностей. Внедрение технологий виртуальных экскурсий позволяет «посещать» экспозиции музея гораздо большему числу людей, но не могут обеспечить в полной мере передачу культурных смыслов, заложенных в его выставках и экспонатах. Ресурсы культурного и ценностного наследия музеев неисчерпаемы, нужно активно пользоваться их возможностями не только познавательного и просветительского характера, но и формирования культурных ценностей. В понятии «наследие» лежит ментальная, духовно-ценностная концепция.

Музеи осуществляют аксиологические, гносеологические, образовательные, воспитательные, профориентационные, рефлексивные, развлекательные, событийные функции, и даже, в какой-то мере, психотерапевтические (осуществление связи поколений, преодоление забвения, формирование исторического сознания). Известно, что в Российской Федерации в недрах музеев возникали научные общества, формировались научные школы и работали великие ученые. Свою карьеру в минеральном кабинете Кунсткамеры начинал М.В. Ломоносов, хранителями и заведующими Минералогических музеев ведущих университетов России работали

В.В. Докучаев, В.И. Вернадский, А.Е. Ферсман, В.А. Обручев, а в Якутском государственном университете – И.И. Колодезников [14].

Велик коммуникативный потенциал музейных предметов и пространства, что отражается в организации выставок и экспозиций, в образовательной и воспитательной деятельности при проведении экскурсий. Музейная коммуникация представлена экскурсионной, экспозиционно-выставочной, рекламно-информационной деятельностью, организацией и проведением лекционных, практических занятий, конференций, массовых и познавательно-развлекательных мероприятий. Вовлеченность посетителей в музейные мероприятия позволяет им лучше воспринимать информацию, развивать воображение, стимулировать развитие познавательных, исследовательских, творческих способностей в музейном пространстве, создавать условия для формирования визуальной культуры и гуманистических ценностей.

Аксиологическая функция горно-геологического музея сводится к расширению представления об истории открытия и освоения ценных природных ресурсов региона, страны в целом, к ориентированию личности в мире ценностей, самоидентификации, принадлежности к важным вехам жизни общества, формированию культурной идентичности, основанной на достижениях предшественников и современников.

Реализации аксиологической функции горно-геологического музея служит формирование положительной эмоциональной окраски образовательного процесса в ходе изучения интересных материалов образцов и геологических коллекций руд и минералов. Различные экспонаты и экспозиции музея помогут понять сложность и разнообразие геологического строения территории, процессов образования и трансформации минералов и горных пород под действием разнообразных сил. На примере представленных экспонатов у зрителей появится возможность увидеть «круговорот» горных пород в земной коре, тесную взаимосвязь эндогенных и экзогенных геологических процессов и их влияние на рельеф, климат, ландшафты земной поверхности. Музейные экспозиции, конечно же, просто необходимо активно вовлекать в учебный процесс, в дело подготовки и формирования будущих специалистов. Обращение к уникальным коллекциям позволит студентам осознать неповторимость и исчерпаемость ценных природных ресурсов, насущную необходимость дальнейшего их исследования и поиска новых месторождений полезных ископаемых.

При этом в рамках девятого Восточного экономического форума (г. Владивосток, 2024) В.В. Путин дал поручение Правительству РФ реализовать 2-й этап программы «Геология: возрождение легенды» в объеме, необходимом для достижения поставленных государственных целей. При этом Республика Саха (Якутия) входит в перечень пилотных регионов страны по масштабному развитию геологоразведки. Таким образом, сегодня особенно актуальна задача по комплексной подготовке геологических кадров, профориентации и популяризации отрасли.

Республика находится на 1-м месте в России по запасам алмазов, урана, олова, на 2-м – по серебру, сурьме и коксующемуся углю, а по золоту – на 4м. Геологоразведочные работы определяют среднесрочную и долгосрочную перспективы развития промышленности в Якутии.

С учетом предстоящих вызовов и задач развития республики, назрела необходимость создания единой концепции горно-геологического музея и его реализации в составе геолого-патриотического комплекса Республики Саха (Якутия) в городе Якутске с сохранением уникального геологического фонда Республики Саха (Якутия).

Геологоразведочные работы определяют среднесрочную и долгосрочную перспективы развития промышленности в Якутии, а горно-геологический музей будет выполнять многогранную роль – от научно-образовательного центра до пространства культурного обмена. Поэтому создание горно-геологического музея в Якутске – это насущная необходимость, которая позволит не только сохранить и изучить ценные природные ресурсы региона, но и привнести новую жизнь в просветительскую деятельность и научные исследования на благо будущих поколений.

### Литература

1. Куперштох, Н. А. Первооткрыватель якутских алмазов: к 110-летию со дня рождения академика Владимира Степановича Соболева / Н. А. Куперштох. – Текст : непосредственный // История науки и техники. – 2018. – № 6. С. 30-38.
2. Королева, О. В. Академическая геология Якутии: Институту геологии алмаза и благородных металлов СО РАН – 60 лет / О. В. Королева. – Текст : непосредственный // Отечественная геология. 2017. № 5. С. 3-11.
3. Калашников, В. В. Геологические работы в Республике Саха (Якутия) за 100 лет / В. В. Калашников, Л. Н. Ковалев. – Текст : непосредственный // Руды и металлы. – 2022. – № 2. С. 6-24.
4. Андреев, Д. В. Промышленность Якутии / Д. В. Андреев. – Текст : непосредственный // Рефлексия. 2023. № 5. С. 42-44.
5. Маршинцев, В. К. Богатства недр Якутии: полезные ископаемые, минерально-сырьевая база / Маршинцев В. К., Гадиятов В. Г. Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2020. – 320 с. – Текст : непосредственный.
6. Соляник, В. А. Чароит – открытие второй половины XX в. / Соляник, В. А. – Текст : непосредственный // Вестник ДВО РАН. – 2004. – № 4. – С. 152-156.
7. Анисимова, Г. С. Новый минерал – амгаит – первое природное соединение таллия с теллуром / Г. С. Анисимова, Е. П. Соколов, Л. А. Кондратьева, В. Н. Кардашевская. – Текст : непосредственный. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России [Эл.р.]: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 21-24 марта 2023 г. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2023.
8. Яковенчук, В. Н. Сергейсмирновит  $MgZn_2(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$  – новый минерал из месторождения Кестёр (Саха-Якутия, Россия) / В. Н. Яковенчук, Я. А. Пахомовский, Н. Г. Коноплёва [и др.]. – Текст : непосредственный. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Т. 505. № 2. С. 165-169.
9. Потравный, И. М. Добыча бивней мамонта как вид традиционного природопользования / И. М. Потравный, А. В. Протопопов, В. В. Гассий. – Текст : непосредственный // Арктика: экология и экономика. 2020. № 1(37). С. 109-121.
10. Колосов, П. Н. Полярное местонахождение динозавровой фауны Тээтэ (Восточная Сибирь, Якутия) / П. Н. Колосов, П. П. Скучас, Д. Д. Витенко, А. О. Аверьянов. – Текст : непосредственный // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2023. – Т. 28, № 4. – С. 540-549.
11. Мифтахутдинова, Д. Н. Биогенные структуры терригенных отложений пограничного пермо-триасового интервала Южного Верхоянья, республика Саха (Якутия) / Д. Н. Мифтахутдинова, Р. В. Кутыгин. – Текст : непосредственный // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2022. – № 3. – С. 16-24.
12. Рожин, С. С. Строматолиты и микрофитолиты Нохтуйского разреза / С. С. Рожин, К. С. Олёнова. – Текст : непосредственный // Каротажник. – 2018. – № 11 (293). – С. 4-14.
13. Фридовский, В. Ю. Вклад выпускников Якутского государственного университета в геологическую изученность территории и создание минерально-сырьевой базы (к 65-летию начала подготовки геологов в Якутии и 60-летию первого выпуска) / В. Ю. Фридовский, П. Н. Колосов, Б. И. Попов. – Текст : непосредственный // Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле». – 2021. – № 3(23). – С. 46-57.
14. Третьякова, О. Г. Общеобразовательный аспект минералогического музея на примере Северо-Восточного федерального университета / О. Г. Третьякова, В. Р. Филиппов, И. В. Козлова, В. Ф. Попов. – Текст : непосредственный // Минералогия. – 2021. – Том 7, № 4. – С. 85–92.

### References

1. Kupertstokh NA. Vpervootkryvatel' yakutskikhalmazov: k 110-letiyu so dnyarozhdeniya akademika Vladimira Stepanovicha Soboleva. Istoriya nauki i tekhniki. 2018;6:30-38.

2. Koroleva OV. Akademicheskaya geologiya Yakutii: Institutu geologii al'maza i blagodornykh metallov SO RAN – 60 let. Otechestvennaya geologiya. 2017;5:3-11.
3. Kalashnikov VV, Kovalev LN. Geologicheskie raboty v Respublike Sakha (Yakutiya) za 100 let. Rudy i metally. 2022;2:6-24.
4. Andreyev DV. Promyshlennost' Yakutii. Refleksiya. 2023;5:42-44.
5. Marshintsev VK, Gadiyatov VG. Bogatstva nedr Yakutii: poleznye iskopayemye, mineral'no-syreвая база. Voronezh: Izdatelskiy dom VGUES; 2020. 320 s.
6. Solyanik VA. Charoit – otkrytie vtoroy polovina KhKh v. Vestnik DVO RAN. 2004;4:152-156.
7. Anisimova GS, Sokolov EP, Kondrateva LA, Kardiasheskaya VN. Novyy mineral' – amgait – pervoe prirodnoe soyedineniye talliya s tellurom. Geologiya i mineral'no-syrevyeye resursy Severo-Vostoka Rossii: materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, 21-24 marta 2023 g. Yakutsk: Izdatelskiy dom SVFU; 2023.
8. Yakovenchuk VN, Pakhomovskiy YA, Konopleva NG, Panikovskiy TL, Bazai A, Mikhaylova YA, Bocharov VN, Krivovichev SV. Sergey-smirnovit  $MgZn_2(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$  – novyy mineral' iz mestorozhdeniya Kestër (Sakha-Yakutiya, Rossiya). Doklady Rossiyskoy akademii nauk. Nauki o Zemle. 2022;505(2):165-169.
9. Potravny IM, Protopopov AV, Gassiy VV. Dobicha bivney mamonta kak vid traditsionnogo prirodopol'zovaniya. Arktika: ekologiya i ekonomika. 2020;1(37):109-121.
10. Kolosov PN, Skuchas PP, Vitenko DD, Averyanov AO. Polyarnoye mestonakhozhdenie dinozavrovoy fauny Teetë (Vostochnaya Sibir', Yakutiya). Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki. 2023;28(4):540-549.
11. Miftakhutdinova DN, Kutugin RV. Biogennyye struktury terrigen'nykh otlozheniy pogranichnogo permotriyasovogo perioda Yuzhnogo Verkho'yanya, respublika Sakha (Yakutiya). Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN. 2022;3:16-24.
12. Rozhin SS, Olenova KS. Stromatolity i mikrofitolity Nokhtuyskogo razreza. Karotazhnik. 2018;11(293):4-14.
13. Fridovskiy VYu, Kolosov PN, Popov BI. Vklad vypusnikov Yakutskogo gosudarstvennogo universiteta v geologicheskuyu izuchennost' territorii i sozdanie mineral'no-syrevoy bazy (k 65-letiyu nachala podgotovki geologov v Yakutii i 60-letiyu pervogo vypuska). Vestnik SVFU. Seriya «Nauki o Zemle». 2021;3(23):46-57.
14. Tretyakova OG, Filippov VR, Kozlova IV, Popov VF. Obshcheobrazovatel'nyy aspekt mineralogicheskogo muzeya na primere Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta. Mineralogiya. 2021;7(4):85-92.

#### Сведения об авторах

*ТРЕТЬЯКОВА Ольга Геннадьевна* – ст. преп. каф. прикладной геологии ГРФ, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: og.tretyakova@s-vfu.ru

*TRETYAKOVA Olga G.* – Senior Lecturer, Faculty of Geological Exploration, M.K. Ammosov NEFU

*СЫЧЕВСКИЙ Андрей Викторович* – зам. министра промышленности и геологии Республики Саха (Якутия). E-mail: sychevskiyav@sakha.gov.ru

*SYCHEVSKY Andrei V.* – Deputy Minister of Industry and Geology of the Republic of Sakha (Yakutia)

*ПОПОВ Владимир Федорович* – доцент каф. прикладной геологии ГРФ, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: pvf\_grf@rambler.ru

*ПОПОВ Vladimir F.* – Associate Professor, Faculty of Geological Exploration, M.K. Ammosov NEFU University

*КОЗЛОВА Инга Владимировна* – ст. преп. Национального исследовательского Томского государственного университета. – E-mail: ingrid\_k@mail.ru

*KOZLOVA Inga V.* – Senior Lecturer, National Research Tomsk State University

*ТРЕТЬЯКОВА Наталья Максимовна* – студентка института агробиотехнологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. E-mail: natatretyakova@gmail.com

*TRETYAKOVA Natalia M.* – Student of the Institute of Agrobiotechnology, K.A. Timiryazev Russian State Agrobiotechnological University

# ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 553.041

DOI 10.25587/2587-8751-2024-4-83-94

*Е.Д. Волох<sup>1</sup>✉, Н.А. Алексеенко<sup>2</sup>, А.А. Медведев<sup>2</sup>*<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия<sup>2</sup> Институт географии РАН, Москва, Россия

✉ evolokh000@gmail.com

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ ГАЗОГИДРАТОВ МИРОВЫМ СООБЩЕСТВОМ В XX-XXI ВВ

**Аннотация.** Актуальность исследования газогидратов обусловлена их потенциальной ролью как альтернативного источника энергии и важного элемента в изучении климатических изменений. Цель данного научного обзора заключается в систематизации существующих методов обнаружения газогидратов, а также анализе их эффективности и применимости в различных условиях. Задачи исследования включают оценку современных технологий, таких как сейсмическое зондирование, геофизические методы, химический анализ проб, использование данных дистанционного зондирования Земли, различные варианты моделирования. В ходе исследования был проведен анализ ряда публикаций на основании таких баз данных, как Google Scholar, GeoRef, ResearchGate, посвященных методам обнаружения газогидратов, с акцентом на их технологические аспекты и практическое применение. Используемые методы включают сравнительный анализ, мета-анализ данных, а также оценку результатов полевых исследований. В результате было выявлено, что наиболее эффективными являются комбинации геофизических методов, которые позволяют повысить точность локализации газогидратов. Также в последние годы на первый план выходят методы дистанционного зондирования, которые являются эффективным инструментом для выявления источников выбросов метана, обычно связанных с месторождениями гидратов. Основные выводы показывают, что несмотря на достижения в области обнаружения газогидратов, существует необходимость в разработке более чувствительных и экономически эффективных технологий. Перспективы дальнейшего исследования включают интеграцию новых сенсорных технологий и моделирования для улучшения точности предсказаний месторождений газогидратов. Направления будущей работы могут охватывать как теоретические аспекты, так и практическое внедрение новых методов в полевые условия.

**Ключевые слова:** обнаружение газогидратов, бурение, моделирование, идентификация залежей, альтернативные источники энергии, многолетнемерзлые породы, рентгеновская дифракция, рамановская спектроскопия, сейсмическая разведка, метан

**Для цитирования:** Волох Е.Д., Алексеенко Н.А., Медведев А.А. Исследования возможностей обнаружения залежей газогидратов мировым сообществом в XX-XXI вв. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 83–94. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-83-94

E.D. Volokh<sup>1</sup>✉, N.A. Alekseenko<sup>2</sup>, A.A. Medvedev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ evolokh000@gmail.com

## THE RESEARCH ON THE POSSIBILITIES OF DETECTING GAS HYDRATES BY THE WORLD COMMUNITY IN THE 20<sup>TH</sup> – 21<sup>ST</sup> CENTURIES

**Abstract.** The relevance of gas hydrates studying is defined to their potential role as an alternative energy source and an important element in the research of climate change. The main purpose of this literature review is to systematize existing methods for detecting gas hydrates, as well as to analyze their effectiveness and applicability in various conditions. The research objectives include the assessment of modern technologies such as seismic sensing, geophysical methods, chemical analysis of samples, the use of remote sensing data, and various modeling options. A number of publications based on such databases as GoogleScholar, GeoRef, and ResearchGate on methods for detecting gas hydrates, with an emphasis on their technological aspects and practical applications were found. The used methods include comparative analysis, meta-analysis of data, and evaluation of field research results. As a result, it was revealed that the most effective methods are represented by combinations of geophysical methods that allow to increase the accuracy of localization gas hydrates localization. Moreover, remote sensing methods are becoming more popular as an effective tool for identifying sources of methane emissions, usually associated with hydrate deposits. The main findings show that despite the advances in gas hydrate detection, there is a need in developing more sensitive and cost-effective technologies. The prospects for further research include the integration of new sensor technologies and modelling to improve the accuracy of predictions of gas hydrate deposits. The areas of future researches may cover both theoretical aspects and practical implementation of new methods in the field.

**Keywords:** detection of gas hydrates, drilling, modeling, identification of deposits, alternative energy resources, permafrost, X-ray diffraction, Raman spectroscopy, seismic exploration, methane

**For citation:** Volokh E.D., Alekseenko N.A., Medvedev A.A. The research on the possibilities of detecting gas hydrates by the world community in the 20<sup>th</sup> – 21<sup>st</sup> centuries. *Vestnik of NEFU. Earth Sciences*. 2024, № 4. Pp. 83–94. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-83-94

### Введение

На современном этапе развития общества вопрос энергетических ресурсов является крайне важным. Запасы нефти и газа относятся к иссекаемым невозобновляемым природным ресурсам, поэтому внимание мирового сообщества на сегодняшний день приковано к различным альтернативным источникам энергии. В том числе таким источником энергии могут являться газогидраты.

Газогидраты представляют собой ледяные соединения низкомолекулярных газов (чаще всего метана), заключенные в водородную структуру из молекул воды. Обычно они образуются неглубоко в Земле в порых осадочных породах. При повышении температуры и уменьшении давления гидрат разлагается на газ и воду с поглощением большого количества теплоты. Разложение гидрата в замкнутом объёме либо в пористой среде (естественные условия) приводит к значительному повышению давления. Область их существования приурочена к морским донным осадкам и к областям многолетнемерзлых пород.

На сегодняшний день газогидраты являются объектом исследования ученых по всему миру. Исследования ведутся на Аляске, в Китае, России и других государствах. Положение о возможности использования газогидратов в качестве альтернативного источника энергии, а также об их колоссальных залежах уже не подвергается сомнению. Именно поэтому в рамках данной работы была сформулирована следующая цель: провести анализ и систематизацию литературы, посвященной исследованиям газогидратов.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- Поиск литературы по заявленной тематике;
- Изучение и анализ методов обнаружения залежей газогидратов;
- Систематизация и классификация выявленных методов обнаружений залежей газогидратов по ряду признаков.

В результате сформирована сводная таблица мировых исследований, направленных на обнаружение залежей газогидратов с их основными положениями. Краткое описание выбранных исследований приведено в следующих разделах.

#### Материалы и методы исследования

На основании баз данных отбирались статьи, посвященные непосредственно обнаружению залежей газогидратов. С точки зрения временного диапазона ограничений наложено не было, однако, в силу специфики изучаемого объекта, большинство статей написаны в XXI веке.

Проведенный анализ показал, что наиболее активный интерес к исследованию газогидратов наблюдается в научной среде с конца XX века, что характеризуется большим количеством крайне разнородных исследований. На основании изученной литературы все исследования можно разделить на две крупные группы, исходя из методов обнаружения и исследования изучаемых объектов: некартографические исследования, включающие в себя бурение, использование сейсмических данных, Рамановскую спектроскопию, CSEM (морской управляемый электромагнитный источник излучения), химический анализ, биосратиграфию и другие, а также картографические исследования, включающие в себя разные виды моделирования, а также методы дистанционного зондирования[1].

#### Результаты

На основании проведенного анализа литературы составлена сводная таблица, содержащая основную информацию об используемых на сегодняшний день методах обнаружения газогидратов (табл.).

Таблица – Основные результаты и методы изучения газогидратов  
Table – Main results and methods of studying gas hydrates

Район исследования	Год публикации	Используемые методы и источники данных	Основные результаты
оз. Байкал	2001	Сейсмические данные; высокоамплитудное моделирующее дно отражение с обратной полярностью; бурение	Произведена приблизительная оценка объема гидратов и углерода, хранящихся в отложениях Байкала, на основании чего был сделан вывод, что газогидратные запасы Байкала не являются перспективным энергетическим ресурсом
оз. Байкал	2003	Сейсмические данные	Конфигурация зоны запаса газогидратов и их стабильность сложнее, чем первоначально предполагалось
дельта р. Маккензи	2006	Бурение; Рентгеновская дифракция	Большое количество гидратов природного газа было успешно извлечено из различных песчаных и гравийных отложений
Кадисский залив	2009	ГИС-моделирование	Разработана модель для картографирования регионального трехмерного распределения стабильных газогидратов в донных отложениях

Мексиканский залив	2010	Рамановская спектроскопия; Рентгеновская дифракция	Подтверждает наличие залежей газогидратных структур по всему миру и закладывает фундамент разработке различных способов оценки их месторождений
Новая Зеландия, о. Северный	2010	CSEM	На базе полученных данных были составлены профили удельного сопротивления подповерхностных донных отложений и одномерные модели
Аляска	2011	Бурение	Подтверждено наличие по меньшей мере двух больших скоплений газогидратов на северном склоне; впервые провели приблизительные расчеты того, сколько газа может быть извлечено из газогидратов.
Термокарстовое озеро на Аляске	2012	БПЛА; Полевые измерения; данные радиолокационной съемки в L-диапазоне	Оптическое дистанционное зондирование является мощным инструментом для картографирования выбросов метана, идентификации их интенсивности и оценки их пространственно-временной изменчивости; Съемка в L-диапазоне может быть использована для количественной оценки выбросов метана в термокарстовых озерах
Каспийское море-озеро	2017	Математическое моделирование	Результатом исследования явились карты положения верхнего и нижнего пределов образования гидрата метана
Устье р. Чжуцзян, КНР Тундровая зона хр. Циляншань Континентальный склон о. Тайвань	2017	Химический анализ образцов	Для подавляющего большинства мировых запасов газогидратов характерен бактериальный генезис – результат карбонатного восстановления
оз. Байкал	2019	Биостратиграфическая корреляция; сейсмо-стратиграфия; бурение	Генетическая связь между диссоциацией гидрата газа и инициацией эруптивной активности объясняет многочисленные особенности «Байкальского» осадочного вулканизма
Побережье Санрику	2020	Автоматизированный скоростной анализ; Метод моделирования посредством множественных отражений; Кондуктивное моделирование	Разработан комплекс методов, который может быть использован для получения картографических данных о залегании газогидратов высокого пространственного разрешения в зонах субдукции
Южно-Китайское море (северная часть)	2020	Морфометрический анализ отложений; Химический анализ образцов	Химические характеристики воды в порах исследуемого вещества предоставляют возможность рассчитывать на эксплуатационный потенциал образующихся на территории газогидратов

## Обсуждение

### • Исследования залежей газогидратов в дельте реки Маккензи

В начале 1998 года в дельте реки Маккензи была пробурена исследовательская скважина JAPEX/JNOC/GSC Mallik 2L-38 на глубину 1150 м под зоной вечной мерзлоты. В результате бурения большое количество гидратов природного газа было успешно извлечено из песчаных и гравийных отложений. Также было установлено, что 110 м отложений, содержащих газогидраты, расположены на участке глубиной от 897 до 1100 м. Включения газогидратов встречались

как в виде цельных образований, так и в порах между кристаллами в гранулированных песках. При бурении полученные газогидраты сохраняли в спрессованных обломках породы с использованием технологии рентгеновского КТ-сканера. Количественные оценки концентраций гидратов газа в пробах активной зоны были сделаны на основе значений давления в сосудах, диссоциации и измерений метрических характеристик образцов. В результате добытые образцы газогидратов были разделены на 6 типов. Рентгеновские изображения использовались для характеристики макроскопических форм гидрата газа. Более мелкие зернистые залежи были более трудными для изучения, тем не менее на рентгеновских изображениях можно отличить газогидраты от вмещающей породы [2, 3, 4].

• Изучение смешанных структур газогидратов Мексиканского залива

В первом десятилетии XXI века группа ученых из Германии и США занималась исследованием смешанных газогидратных структур на холме Чапопот в южной части Мексиканского залива. В рамках исследования изучались смешанные структуры газогидратов разных типов: структуры I (гидрат имеет кубическую кристаллическую структуру и состоит из 2-х малых клеток, каждая из которых состоит из 12 плоскостей пятиугольника, и 6 больших клеток) и структуры II (состоит из 16 маленьких и 8 больших клеток, по сравнению с первым типом, они включают в себя 12 пятиугольных структур и четыре шестиугольные, а следовательно, могут включать в себя более крупные молекулы газа).

Для исследования сосуществования различных газогидратных структур были использованы следующие методы: Рамановская спектроскопия; рентгеновскую дифракцию; газовую хроматографию.

Газовые гидраты были обнаружены в цементированной среде и в порах вещества, выступающих на поверхность морского дна. Два из трех исследованных образцов содержали только структуры I типа, состоящие, в основном, из метана. Третий же образец представлял собой соединение структур обоих типов, где примерно четверть массы относилась к структуре II типа, остальные три четверти приходились на I тип. Эти две структуры были тесно связаны в пределах отдельного зерна агломерата. Кристаллиты структуры II типа были значительно больше, чем структуры I типа, что свидетельствует о различной плотности кристаллообразования или различном возрасте кристаллитов. Структурное сосуществование может быть результатом следующих причин: расслоение на две гидратные структуры во время перехода из газообразного состояния в твердое, что обеспечило дополнительную степень свободы для снижения свободной энергии в системе; фракционированная кристаллизация и, как следствие, изменение молекулярного состава; кристаллизация из воды и отделившихся пузырьков газа с разным углеводородным составом; частичное преобразование структуры II в структуру I после формирования гидрата, прекратившееся при достижении термодинамически уравновешенного состояния.

Данное исследование подтверждает наличие залежей газогидратных структур по всему миру и закладывает фундамент разработке различных способов оценки месторождений природных газогидратов [5].

• Исследование газогидратов Бассейна Уллынг Японского моря

Бассейн Уллынг в Японском море известен случаями обрушения подводных склонов вдоль всей прибрежной территории и, как следствие массовых перемещений рыхлых отложений. В рамках ряда исследований выдвигалось предположение, что причиной обрушения склонов является широкое распространение газогидратов в бассейне. Поэтому ученые из Испании и Южной Кореи выявили особенности обрушения склонов, изучив такие объекты, как выступы скальных пород, тела оползней, плоскости скольжения и рыхлые отложения. В качестве источника информации использовался региональный набор многоканальных сейсмических данных. Ряд сейсмических индикаторов газогидратов и сопутствующих потоков газа и жидкости, полученных за счет множественных отражений поверхности дна был пересчитан с учетом имеющихся на территории сейсмических трубок, покмарок, а также аномалий отражения. Зона

залегания газовых гидратов в пределах склоновых отложений была определена по распределению множественных отражений от дна. По результатам эхолотирования наибольший интерес для исследования представляет юго-западный склон.

Высокое значение корреляции между пространственным распределением оползней и сейсмическими характеристиками свободного газа, потоков газа и жидкости и выклинивания зоны стабильности газогидратов могут указывать на то, что избыточное поровое давление, вызванное диссоциацией газогидратов, может являться причиной разрушения склонов [6].

• Исследование газогидратов северной части Южно-Китайского моря

В 2015 году Китайская национальная морская нефтяная корпорация передала группе Китайских ученых керны с участка, закрытого для пробной добычи до 2017 года, содержащие образцы газогидратов для дальнейшего анализа и оценки запасов газогидратов. Были проведены исследования происхождения и состава полученных образцов. Результаты показали, что в составе преобладает метан с незначительным содержанием углекислого газа и других углеводородов. Газ вырабатывается в результате смешано-генетических действий с преобладанием микробного происхождения и присутствием термогенного воздействия. Также были изучены морфология поверхности, химический и гранулометрический состав вмещающих отложений. Химические характеристики воды в порах вещества предоставляют возможность рассчитывать на эксплуатационный потенциал образующихся на территории газогидратов [7].

• Исследование генетических типов газогидратов в Южно-Китайском море и на территории Китайской Народной Республики

В 2016 году Китай провел Четвертую кампанию по бурению газовых гидратов для участка Шеньху Южно-Китайского моря. В результате бурения были получены комплексные данные каротажа и образцы газогидратов. Для данных, полученных с помощью каротажа, характерны высокие показатели электрического сопротивления и скорости звука на различной глубине, что указывает на наличие запасов газогидратов в исследуемой области. Впервые сосуществование газогидратов со структурой I и II типов в Южно-Китайском море было подтверждено на основании Рамановской спектроскопии. Сосуществование обоих структурных типов газогидратов усложняют систему переходов агрегатных состояний вещества (газ-вода-гидрат) [8].

Китайские ученые также исследовали пробы газогидратов, взятые в устье реки Чжуцзян, тундровой зоне хребта Цилиньшань, северной части бассейна Южно-Китайского моря, а также с континентального склона острова Тайвань. Юрские формации газогидратов хребта Цилиньшань в основном имеют нефтяное происхождение и характеризуется самотермогенерацией и самосохранением. Также было обнаружено небольшое количество угольных газов, которые могут поступать из угленосной среднеюрской формации. Пробы газогидратов из устья р. Чжуцзян и с континентального склона о. Тайвань характеризуются преобладанием бактериального происхождения карбонатного восстановления. Также в этих бассейнах было обнаружено незначительное количество газогидратов термогенного происхождения. В рамках исследования ученые собрали геохимические данные о 20 различных бассейнах мира, и пришли к выводу, что термогенные газогидраты обязаны своим происхождением отложениям угля и нефти, но значительно преобладают нефтяные газогидраты. Для подавляющего большинства мировых запасов газогидратов характерен бактериальный генезис – результат карбонатного восстановления. Метаногенез ацетатного брожения характерен только для газогидратов озера Байкал [9].

• Оценка залежей газогидратов в зоне просачивания с использованием электромагнитов морских контролируемых источников

В Новой Зеландии несколько известных точек просачивания газа вдоль восточного побережья были исследованы с помощью морского управляемого электромагнитного источника излучения (CSEM). Нижняя буксируемая электрическая система, работающая по принципу диполь-диполь, была использована для выявления наличия газогидратов и свободного метана, присутствующих в областях просачивания.

Две линии CSEM были проложены вдоль известных участков просачивания у юговосточного побережья Северного острова на берегу Опуаве в районе Вайрапа. На базе полученных данных были составлены профили удельного сопротивления подповерхностных донных отложений и одномерные модели. Аномальные значения сопротивления совпадают с расположением двух газоотводных площадок: Северной и Южной башен на берегу Опуаве. Также причиной аномальных сопротивлений могут являться слой концентрированных газогидратов, расположенный примерно на 100 м глубже поверхности дна, свободный газ и карбонатные корки. Сейсмические данные также могут указывать на распределение газовых гидратов или аутигенного карбоната. Геохимические профили указывают на увеличение потока выбросов метана и образование газогидратов на участке мелководных отложений вокруг участков просачивания [10].

Вертикальные характеристики близко залегающих газогидратов могут быть эффективно разграничены путем инвертирования данных CSEM как статичного донного, так и буксируемого приемников одновременно. Применяемый подход может быть использован для картографирования и мониторинга минерализации донных отложений, пресноводных резервуаров и приповерхностных геотермальных систем [11].

• Исследования газогидратов Байкала

В последнем десятилетии XX века группа ученых из России и Бельгии занималась исследованием частотно-зависимого поведения акустических характеристик метаногидратоносных отложений в озере Байкал. При использовании низкочастотного массива данных основание зоны устойчивости газогидратов наблюдается как высокоамплитудное моделирующее дно отражение с обратной полярностью. Амплитуда и непрерывность высокоамплитудного моделирующего дно отражения (bottom-simulating reflection, BSR) уменьшаются или даже исчезают при использовании средне- и высокочастотных данных, что объясняется вертикальным и горизонтальным разрешением. Увеличение амплитуды отражения BSR с увеличением смещения, вычисленный коэффициент отражения BSR и возникновение усиленных отражений ниже BSR предполагают наличие свободного газа ниже основания зоны стабильности газогидратов. Наблюдение некоторых усиленных отражений, простирающихся выше BSR, может быть интерпретировано в качестве указания на наличие свободного газа совместно с гидратами в зоне их стабильности.

Одноканальные профили пневматического оружия обеспечили сейсмической информацией Байкальский проект бурения (BDP-97). Информация, полученная в результате бурения и сейсмических исследований, позволила произвести приблизительную оценку объема гидратов и углерода, хранящихся в отложениях Байкала, на основании чего ученые сделали вывод, что газогидратные запасы Байкала не являются перспективным энергетическим ресурсом. Однако в более поздних исследованиях было установлено, что конфигурация зоны залегания газогидратов сложнее, чем предполагалось изначально [12, 13]. Полученные результаты также подчеркивают, что генетическая связь между диссоциацией гидрата газа и инициацией эруптивной активности объясняет многочисленные особенности «Байкальского» осадочного вулканизма. В рамках данного исследования ученые говорят о том, что полученные результаты открывают новые перспективы исследования грязевых вулканов во всем мире, а также отмечают, что газовые гидраты не являются одной из общих черт осадочного вулканизма, но могут играть активную роль в качестве механизма запуска самого процесса [14].

• Расчет толщины зоны стабильности газогидратов северного материкового склона Кадисского залива на базе геоинформационных методов

Группа ученых из Испании и Италии разработала в среде ГИС вычислительную модель для картографирования регионального трехмерного распределения стабильных газогидратов в донных отложениях. Модель применялась для расчета толщины зоны стабильности газогидратов на северном материковом склоне Кадисского залива, для которого характерны обильные источники гидратообразования, такие как обширные выходы углеводородов, наличие диапиров

и разломных структур, в сочетании с глубокими подводными течениями и сложной морфологией морского дна. Построенная для залива модель отображает распределение основания зоны стабильности газогидратов как для биогенных, так и для термогенных составляющих газа и объясняет геометрию распределения геологических структур. Данные были получены методом множественных отражений за счет эхолотирования в верхней части континентального склона и отвода газа из месторождения [15, 16].

• Исследование газогидратов в зоне субдукции на примере преддугового бассейна в районе побережья Санрику

В рамках исследования преддугового бассейна в районе побережья Санрику на северо-востоке Японии ученые этой страны применили метод автоматизированного скоростного анализа к трехмерному объему сейсмических данных, чтобы получить модель высокого разрешения для скоростей распространения волн в веществе. Далее данная модель была использована для исследования влияния поведения жидкости на подповерхностное распределение газа. Участки скопления свободного газа были идентифицированы как зоны с низкой скоростью продольных волн. С помощью метода моделирования дна посредством множественных отражений свободные газы были четко разграничены с вышележащими газогидратами, для толщ которых характерна более высокая скорость прохождения продольных волн. На следующем этапе, применяя кондуктивное моделирование, группа исследователей составила карту восходящего теплового потока в исследуемой области. Точкой отсчета послужили данные, полученные из первой модели в результате использования эхолотирования.

Расчетный тепловой поток показывает, что восходящий поток жидкости оказывает значительное влияние на распределение как газогидратов, так и свободного газа. Области высокой температуры соответствуют нижележащим проницаемым геологическим объектам, таким как газовые трубы, разломы и массивы осадочных пород. В рамках исследования было сформулировано предположение, что данная особенность обеспечила пути миграции флюидов из материнской породы на протяжении отрезка времени от эоцена до олигоцена, включая скопления свободного газа и гидратов в вышележащие толщи осадочных пород. Комплекс вышеописанных методов может быть использован для получения картографических данных о залегании газогидратов и скоплениях свободного газа высокого пространственного разрешения для аналогичных глубоководных водоемов в зонах субдукции [17].

• Создание карт образования газогидратов в Каспийском море на основе оценки физико-химической устойчивости гидрата метана

Предварительные исследования Каспийского моря учеными из Ирана позволили сделать предположение о наличии залежей газогидратов в отложениях водоема в силу подходящих физико-химических условий, наличия глинистых отложений и высокой концентрации органического вещества. На основе физико-химического уравнения для стабильности гидрата метана при различных давлении, температуре и солености, исследование было предназначено для расчета потенциала газогидратообразования в бассейне Каспийского моря. С этой целью был проведен анализ данных из более 600 точек на территории водоема, для каждой из которых были рассчитаны верхний и нижний пределы зоны образования гидрата метана. В результате полученные данные были проинтерполированы на всю территорию Каспийского моря, а результатом исследования явились карты положения верхнего и нижнего пределов образования гидрата метана, которые в дальнейшем могут быть использованы для исследования газогидратов, как в качестве альтернативного источника энергии, так для выявления угроз, связанных с добычей газогидратов [18].

• Использование радиолокационной съемки для выявления выбросов метана

Термокарстовые озера являются важным источником атмосферного метана. Как правило, внешним проявлением эмиссии метана является «пузырение» поверхности озера. В результате экстраполяции пространственно ограниченных полевых измерений существуют неопределен-

ности при региональной оценке выбросов метана. Таким образом, возникает необходимость применения подходов, основанных на дистанционном зондировании, для обнаружения и количественной оценки выбросов метана в масштабах крупных объектов. Во втором десятилетии XXI века группа ученых на Аляске занималась изучением взаимосвязи данных, полученных в результате радарной съемки с синтезированной апертурой с данными полевых измерений выбросов метана для 10 озер полуострова Сьюард. В рамках исследования было установлено, что как площадь, так и интенсивность «пузырения» коррелировали с L-диапазоном согласованной горизонтальной поляризации. Данное исследование показывает, что радиолокационная съемка в L-диапазоне ледовой поверхности озер может быть использована для количественной оценки выбросов метана в термокарстовых озерах [19].

• Использование снимков с БПЛА высокого пространственного разрешения для обнаружения выбросов метана

Термокарстовые озера являются важными «излучателями» метана, мощного парникового газа. Тем не менее, существует ряд трудностей при оценке объемов потока метана в силу частой удаленности термокарстовых озер и гетерогенным происхождением «пузырения» поверхности озера. Группа исследователей из США и Германии использовала снимки с беспилотного летательного аппарата с пространственным разрешением 9-11 см на территорию не заснеженной ледовой поверхности термокарстового озера на Аляске. Была обнаружена сильная обратная экспоненциальная связь между процентами поверхности площади озерного льда, покрытой пузырьчатыми пятнами, и расстоянием от активной термокарстовой части озера. Несмотря на то, что оптическая съемка является требовательной к погодным условиям, исследование показывает, что оптическое дистанционное зондирование является мощным инструментом для картографирования выбросов метана к замерзшей поверхности озера, идентификации интенсивности выбросов и оценки их пространственно-временной изменчивости [20].

### **Заключение**

В результате проделанной работы был проведен анализ литературы по заявленной тематике, который показал, что на сегодняшний день методы обнаружения газогидратов можно подразделить на картографические, включающие разные виды моделирования, а также применение дистанционного зондирования, и представляющие мощный, но недостаточно развитый инструмент для исследования газогидратов, и некартографические, включающие наиболее широко используемые сейчас бурение и эхолотирование.

Несмотря на сравнительно недолгий период изучения и существующие риски, на сегодняшний день газогидраты представляют из себя потенциальный альтернативный источник энергии, для обнаружения которого существует широкое разнообразие различных методов, наиболее популярными из которых остаются бурение и использование данных сейсмической разведки. Тем не менее, применение данных методов для крупных водоемов, таких как Байкал, является затратным и малопродуктивным. В таком случае на передний план выходят методы дистанционного зондирования, представляющие из себя мощный инструмент для определения точек выбросов метана, как правило сопутствующих залежам гидратов.

### **Литература**

1. Liu, L. Monitoring and research on environmental impacts related to marine natural gas hydrates: Review and future perspective / B. Ryu, Zh. Sun [et al.] // Elsevier. Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2019. – 65. – P. 82-107. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875510019300459>.
2. Collett, T. S. Avena et al, Permafrost-associated natural gas hydrate occurrences on the Alaska North Slope / T. S. Collett, M. W. Lee, W. F. // Elsevier. Marine and Petroleum Geology. – 2011. – 8. – P. 279-294. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264817209002177>

3. Uchida, T. Occurrences of Natural Gas Hydrates beneath the Permafrost Zone in Mackenzie Delta / T. Uchida, S. Dallimore, J. Mikami // *Annals New York Academy of Science*. – 2006. – P. 1021-1033. Available from: <https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1749-6632.2000.tb06857.x>
4. Weitemeyer, K. A. A marine electromagnetic survey to detect gas hydrate at Hydrate Ridge, Oregon / K. A. Weitemeyer, S. Constable // *Geophysical Journal International*. – 2011. – 187. – P. 45-62. Available from: <https://academic.oup.com/gji/article/187/1/45/563620>
5. Klapp St. A., Mixed gas hydrate structures at the Chapopote Knoll, southern Gulf of Mexico / St. A. Klapp, M. M. Murshed, Th. Pape [et al.] // Elsevier. *Earth and Planetary Science Letters*. – 2010. – 299. – P. 207-217. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012821X10005625>
6. Horozal, S. Mapping gas hydrate and fluid flow indicators and modeling gas hydrate stability zone (GHSZ) in the Ulleung Basin, East (Japan) Sea: Potential linkage between the occurrence of mass failures and gas hydrate dissociation / S. Horozal, J-J. Bahk, R. Urgeles [et al.] // Elsevier. *Marine and Petroleum Geology*. – 2018. – 80. – P. 171-191. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264817216304305>
7. Guo, K. Physical and chemical characteristics analysis of hydrate samples from northern South China sea / K. Guo, Sh. Fan, Y. Wang [et al.] // Elsevier. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. – 2020. – P. 1-10. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875510020303309>
8. Wei, J. Distribution and characteristics of natural gas hydrates in the Shenhu Sea Area, South China Sea / J. Wei, Y. Fang, H. Lu [et al.] // Elsevier. *Marine and Petroleum Geology*. – 2018. – 98. – P. 622-628. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264817218303064>
9. Jinxing, D. Genetic types of gas hydrates in China / D. Jinxing, N. Yunyan, H. Shipeng [et al.] // Online English edition of the Chinese language journal. *PETROLEUM EXPLORATION AND DEVELOPMENT*. – 2017. – 44 (6). – P. 887-898. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876380417301015>
10. Schwalenberg, K. Evaluation of gas hydrate deposits in an active seep area using marine controlled source electromagnetics: Results from Opouawe Bank, Hikurangi Margin, New Zealand / K. Schwalenberg, M. Haeckel, J. Poort [et al.] // Elsevier. *Marine Geology*. – 2010. – 272. P. 79-88. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025322709001819>;
11. Attias, E. High-resolution resistivity imaging of marine gas hydrate structures by combined inversion of CSEM towed and oceanbottom receiver data / E. Attias, K. Weitemeyer, S. Holz [et al.] // *Geophysical Journal International*. – 2018. – 133 p. Available from: <https://academic.oup.com/gji/article/214/3/1701/5034952>
12. Vanneste, M. Multi-frequency seismic study of gas hydrate-bearing sediments in Lake Baikal, Siberia / M. Vanneste, M. De Batist, A. Golmshtok [et al.] // Elsevier. *International Journal of Marine Geology, Geochemistry and geophysics*. – 2001. – 172. P. 1-21. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025322700001171>
13. Vanneste, M. Atypical heat-flow near gas hydrate irregularities and cold seeps in the Baikal Rift Zone / M. Vanneste, Jeffrey Poort, M. De Batist [et al.] // Elsevier. *Marine and Petroleum Geology*. – 2003. – 19. P. 1257-1274. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264817203000199>
14. Khlystov, O. M. Shallow-rooted mud volcanism in Lake Baikal / O.M. Khlystov, J. Poort, A. Mazzini [et al.] // Elsevier. *Marine and Petroleum Geology*. – 2019. – 102. – P. 580-589. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264817219300054>
15. Хлыстов, О. М. Результаты поиска и изучения Байкальских газовых гидратов / О. М. Хлыстов. 2017.
16. Leon, R. A predictive numerical model for potential mapping of the gas hydrate stability zone in the Gulf of Cadiz / R. Leon, L. Somoza, C.J. Gimenez-Moreno [et al.] // Elsevier. *Marine and Petroleum Geology*. – 2009. – 26. – P. 1564-1579. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026481720900021X>
17. Kret, K. Distributions of gas hydrate and free gas accumulations associated with upward fluid flow in the Sanriku-Oki forearc basin, northeast Japan / K. Kret, T. Tsuji, Ch. Chhun [et al.] // Elsevier. *Marine and Petroleum Geology*. – 2020. – 116. – P. 1-15. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026481722030088X>

18. Gerivani, H. Potential map of gas hydrate formation in Caspian Sea based on physicochemical stability evaluation of methane hydrate / H. Gerivani, B. Gerivani [et al] // *Marine Georesources & Geotechnology*. – 2017. – 35 (1). – P. 136-142. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1064119X.2015.1118581>
19. Engram, M. Synthetic aperture radar (SAR) backscatter response from methane ebullition bubbles trapped by thermokarst lake ice / M. Engram, K. W. Anthony, F. J. Meyer [et al] // *Canadian Journal of Remote Sensing*. – 2012. – 38 (6). – P. 667-682. Available from: M. Engram, K. W. Anthony, F. J. Meyer et al, Synthetic aperture radar (SAR) backscatter response from methane ebullition bubbles trapped by thermokarst lake ice
20. Lindgren, P. R. Detection and spatiotemporal analysis of methane ebullition on thermokarst lake ice using high-resolution optical aerial imagery / P. R. Lindgren, G. Grosse, K. M. Walter Anthony [et al.] // *Biogeosciences*. – 2016. – 3. – P. 27-44. Available from: <https://bg.copernicus.org/articles/13/27/2016/>.

### References

1. Liu L, Ryu B, Sun Zh et al. Monitoring and research on environmental impacts related to marine natural gas hydrates: Review and future perspective. Elsevier. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2019;65:82-107. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875510019300459>;
2. Collett TS, Lee MW, Agena WF et al, Permafrost-associated natural gas hydrate occurrences on the Alaska North Slope. Elsevier. *Marine and Petroleum Geology*. 2011;8:279-294. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264817209002177>;
3. Uchida T, Dallimore S, Mikami J. Occurrences of Natural Gas Hydrates beneath the Permafrost Zone in Mackenzie Delta. *Annals New York Academy of Science*. 2006:1021-1033. Available from: <https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1749-6632.2000.tb06857.x>;
4. Weitmeyer KA, Constable S. A marine electromagnetic survey to detect gas hydrate at Hydrate Ridge, Oregon. *Geophysical Journal International*. 2011; 187: 45-62. Available from: <https://academic.oup.com/gji/article/187/1/45/563620>;
5. Klapp StA, Murshed MM, Pape Th et al. Mixed gas hydrate structures at the Chapopote Knoll, southern Gulf of Mexico. Elsevier. *Earth and Planetary Science Letters*. 2010;299:207-217. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012821X10005625>;
6. Horozal S, Bahk J-J, Urgeles R et al. Mapping gas hydrate and fluid flow indicators and modeling gas hydrate stability zone (GHSZ) in the Ulleung Basin, East (Japan) Sea: Potential linkage between the occurrence of mass failures and gas hydrate dissociation. Elsevier. *Marine and Petroleum Geology*. 2018;80:171-191. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264817216304305>;
7. GuoK, Fan Sh, Wang Y et al. Physical and chemical characteristics analysis of hydrate samples from northern South China sea. Elsevier. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2020;1-10. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875510020303309>;
8. Wei J, Fang Y, Lu H et al. Distribution and characteristics of natural gas hydrates in the Shenhu Sea Area, South China Sea. Elsevier. *Marine and Petroleum Geology*. 2018;98:622-628. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264817218303064>;
9. Jinxing D, Yunyan N, Shipeng H et al. Genetic types of gas hydrates in China. Online English edition of the Chinese language journal. *Petroleum exploration and Development*. 2017;44(6):887-898. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876380417301015>;
10. Schwalenberg K, Haeckel M, Poort J et al. Evaluation of gas hydrate deposits in an active seep area using marine controlled source electromagnetics: Results from Opouawe Bank, Hikurangi Margin, New Zealand. Elsevier. *Marine Geology*. 2010;272:79-88. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025322709001819>;
11. Attias E, Weitmeyer K, Holz S et al. High-resolution resistivity imaging of marine gas hydrate structures by combined inversion of CSEM towed and oceanbottom receiver data. *Geophysical Journal International*. 2018; 133. Available from: <https://academic.oup.com/gji/article/214/3/1701/5034952>;

12. Vanneste M, Batist M De, Golmshtok A et al. Multi-frequency seismic study of gas hydrate-bearing sediments in Lake Baikal, Siberia. Elsevier. International Journal of Marine Geology, Geochemistry and geophysics. 2001;172:1-21. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025322700001171>
13. Vanneste M, Poort J, Batist MDe et al. Atypical heat-flow near gas hydrate irregularities and cold seeps in the Baikal Rift Zone. Elsevier. Marine and Petroleum Geology. 2003;19:1257-1274. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264817203000199>
14. Khlystov OM, Poort J, Mazzini A et al. Shallow-rooted mud volcanism in Lake Baikal. Elsevier. Marine and Petroleum Geology. 2019;102:580-589. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264817219300054>
15. Khlystov OM. The results of the search and study of Baikal gas hydrates. 2017; (in Russia)
16. Leon R, Somoza L, Gimenez-Moreno CJ et al. A predictive numerical model for potential mapping of the gas hydrate stability zone in the Gulf of Cadiz. Elsevier. Marine and Petroleum Geology. 2009;26:1564-1579. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026481720900021X>
17. Kret K, Tsuji T, Chhun Ch et al. Distributions of gas hydrate and free gas accumulations associated with upward fluid flow in the Sanriku-Oki forearc basin, northeast Japan. Elsevier. Marine and Petroleum Geology. 2020;116:1-15. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026481722030088X>
18. Gerivani H, Gerivani B et al. Potential map of gas hydrate formation in Caspian Sea based on physicochemical stability evaluation of methane hydrate. Marine Georesources & Geotechnology. 2017;35(1):136-142. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1064119X.2015.1118581>
19. Engram M, Anthony KW, Meyer FJ et al, Synthetic aperture radar (SAR) backscatter response from methane ebullition bubbles trapped by thermokarst lake ice. Canadian Journal of Remote Sensing. 2012;38(6):667-682. Available from: M. Engram, K. W. Anthony, F. J. Meyer et al, Synthetic aperture radar (SAR) backscatter response from methane ebullition bubbles trapped by thermokarst lake ice
20. Lindgren PR, Grosse G, Walter Anthony KM et al. Detection and spatiotemporal analysis of methane ebullition on thermokarst lake ice using highresolution optical aerial imagery. Biogeosciences. 2016; 3: 27-44. Available from: <https://bg.copernicus.org/articles/13/27/2016/>.

#### Сведения об авторах

*ВОЛОХ Екатерина Дмитриевна* – аспирант, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. E-mail: [evolokh000@gmail.com](mailto:evolokh000@gmail.com)

*VOLOKH Ekaterina D.* – postgraduate student, Lomonosov Moscow State University

*АЛЕКСЕЕНКО Наталья Анатольевна* – к.г.н., доцент, Институт географии РАН. E-mail: [valtuz@mail.ru](mailto:valtuz@mail.ru)

*ALEKSEENKO Natalya A.* – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, IG RAS

*МЕДВЕДЕВ Андрей Александрович* – к.г.н., зав. отд. картографии и дистанционного зондирования Земли, Институт географии РАН. E-mail: [a.a.medvedeff@gmail.com](mailto:a.a.medvedeff@gmail.com)

*MEDVEDEV Andrey A.* – Candidate of Geographical Sciences, Head of the Department of Cartography and Remote Sensing of the Earth, IG RAS

*Д.И. Герасимова, М.И. Захаров✉, А.О. Голованов*

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

✉ mi.zakharov@s-vfu.ru

## ТАЕЖНЫЕ ЛАНДШАФТЫ БАССЕЙНА РЕКИ МАЯ

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследования таежных ландшафтов бассейна реки Мая, полученных во время полевых исследований, путем описания фаций, и с использованием картографических материалов. Впервые была составлена карта по ландшафтными фациями бассейна реки Мая. В результате составлена ландшафтная карта бассейна реки Мая с выделением 10 картируемых ландшафтных единиц по сочетаниям групп растительных ассоциаций. Составлена карта ландшафтных фаций для ключевого участка Крестях и описаны фации окрестностей поселка Усть-Юдома. Экологический каркас территории исследования определяется типичными среднетаежными лиственничными кустарниково-зеленомошными лесами. Для бассейна реки Мая характерна высокая ресурсная значимость долинно-речной части бассейновой геосистемы, которая испытывает высокую антропогенную нагрузку. Полученные материалы могут стать основой для более подробного ландшафтного анализа таежных геосистем Центральной Якутии и предгорий хребта Джугдзур, для планировочных решений по территориальному развитию.

**Ключевые слова:** таежные ландшафты, р. Мая, бассейновая геосистема, фация, ландшафтное картографирование.

**Для цитирования:** Герасимова Д.И., Захаров М.И., Голованов А.О. Таежные ландшафты бассейна реки Мая. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 95–103. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-95-103

*D.I. Gerasimova, M.I. Zakharov✉, A.O. Golovanov*

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

✉ mi.zakharov@s-vfu.ru

## TAIGA LANDSCAPES OF THE MAYA RIVER BASIN

**Abstract.** The paper contains the results of the study for taiga landscapes in the Maya River basin, obtained during field surveys, by describing facies, and using cartographic materials. For the first time a map on landscape facies of the Maya River basin was compiled. As a result, a landscape map of the Maya River basin was compiled with the allocation of 10 mapped landscape units by combinations of plant association groups. A map of landscape facies was drawn up for the key site of the Krestyakh area and facies in the vicinity of the Ust-Yudoma settlement were described. The ecological framework of the study area is defined by typical medium taiga larch shrub-green-moss forests. The Maya River basin is characterised by a high resource significance of the valley-river part of the basin geosystem, which experiences a high anthropogenic load. The obtained materials may become the basis for more detailed landscape analysis of taiga geosystems of Central Yakutia and the foothills of the Dzhugdzhur Ridge, for planning decisions on territorial development

**Keywords:** taiga landscapes, Maya river, basin geosystem, facies, landscape mapping.

**For citation:** Gerasimova D.I., Zakharov M.I., Golovanov A.O. Taiga landscapes of the Maya River basin. *Vestnik of NEFU. Earth Sciences*. 2024, № 4. Pp. 95–103. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-95-103

### Введение

Инвентаризация и описание разнотипных ландшафтных структур по полевым, картографическим и дистанционным материалам является исключительно важной процедурой для принятия пространственных решений и экологического планирования [1]. Под понятием «ландшафтная структура» в современной ландшафтной географии понимается не только как

набор ландшафтных единиц, элементов геосистемы, но и взаимодействие и связи между ними. Бассейновый подход чаще всего принимается географами-ландшафтоведами различных отечественных научных школ как способ описания ландшафтной структуры функционально целостной пространственной единицы [2, 3].

Бассейновая геосистема является парадинамической ландшафтной единицей, в котором прослеживается причинно-следственная связь и упорядоченность ландшафтной структуры, объединенной гидрологической сетью. Декомпозиционно бассейновая система согласно представителям мильковской ландшафтной школы имеет две геоморфологически обоснованных части: долинно-речную и междуречно-водораздельную [2]. Долинно-речная часть представлена интразональными ландшафтами долин рек, парагенетически связанных современными флювиальными процессами. Междуречная-водораздельная часть бассейновой системы представлена зональными ландшафтными единицами, развивающиеся на более древних генетических комплексах.

Цель данного исследования составить характеристику ландшафтной структуре бассейновой геосистемы реки Мая. На ключевых участках были проведены комплексные физико-географические исследования во время летней практики студентов-географов и гидрометеорологов в 2024 году. Подробный анализ и картографирование проведено для репрезентативных ландшафтных фаций участка устья речки Крестях. Также проанализованы картографические материалы и данные дистанционного зондирования для картографирования растительного покрова бассейна реки, для определения разнообразия таежных ландшафтов. Анализ ландшафтной структуры проведен с позиций генетико-морфологической ландшафтной организации, что позволяет выделять уникальные и типичные таежные ландшафты и установить важные экологические, экономические и социальные функции.

В качестве территории исследования определена бассейновая геосистема реки Мая на правом притоке р.Алдан и большей частью протекает по территории Юдомо-Майского нагорья. Бассейн охватывает Усть-Майский район, который расположен на юго-востоке Республики Саха (Якутия), а также Аяно-Майский и Охотский районы, которые расположены в северо-западной части Хабаровского края (см. рис.1). Общая площадь бассейна реки Мая составляет около 171 тыс. кв.км. Водосбор начинается с западного склона хребта Джугджур. Протяженность самой реки Мая от истока до устья составляет 1053км. Большая часть из которых т.е. 874км протекает на территории Хабаровского края. Бассейн занимает примерно 1/5 часть территории Хабаровского края, а большая часть бассейна лежит на территории Аяно-Майского района. Протяженность бассейна с запада на восток составляет 442,369 км; с юга на север составляет 850,968 км.

Ландшафтная структура территории исследования определяется большой протяженностью территории с юга на север, а также наличием высотной поясности. Ландшафтная структура Усть-Майского района, согласно, Мерзлотно-ландшафтной карте Якутии [5] представлена зональными среднетаежными лиственничными лесами. Высотная поясность формирует четыре уровня горных ландшафтов: горные редколесья, подгольцовые кустарники, горные тундры и гольцы. По типам местности выделяются: приводораздельные скальные, элювиальные склоновые коллювиальные, делювиально-коллювиальные, делювиально-солифлюкционные, средне-высотные террасовые, низкотеррасовые и ледниково-долинные. Интразональные ландшафты представлены комплексами среднетаежной и горнотаежной растительности долин рек.

Природопользование в бассейне реки Мая включает традиционные виды хозяйствования (рыболовство, земледелие и оленеводство), важные для местного населения, особенно для эвенков. Усть-Майский улус имеет районный статус территории традиционного природопользования [6]. Согласно Филипповой В.В., исследуемая территория характеризуется относительно меньшей трансформацией освоения, где преобладает коренное население с традиционными видами природопользования [7]. Территория исследования является крупным районом добычи золота, которая осуществляется как крупномасштабными горнодобывающими компаниями, так и мелкими артелями.

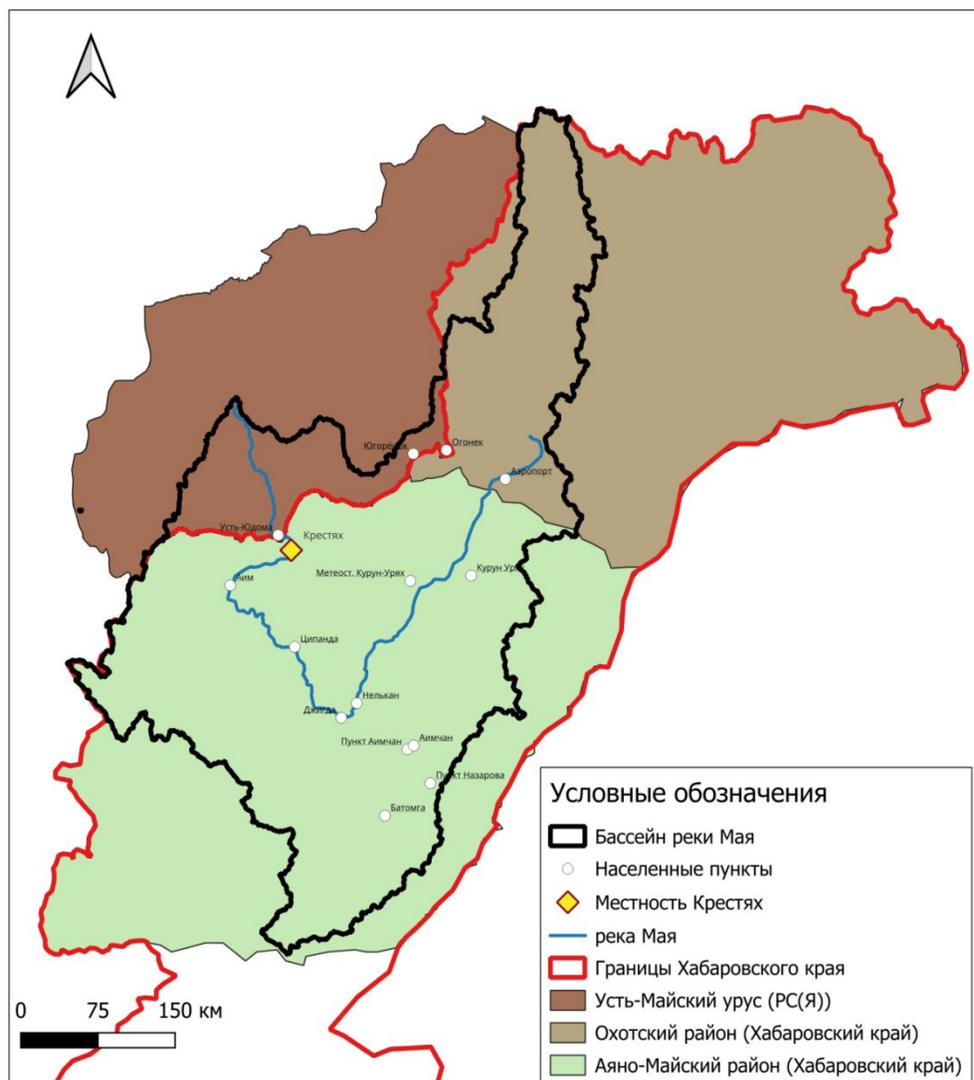


Рис. 1. Район исследования таежных ландшафтов бассейна реки Мая

Figure 1. Study region of taiga landscapes of the Maya River basin

**Материалы и методы**

Исследования в бассейне реки Мая были проведены в промежутке с 26 июня по 11 июля 2024 года, на территории Усть-Майского и Хабаровского края. Всего на территории бассейна реки Мая было заложено 19 фаций по трем трансектам включающим долинно-речную и междуречно-водораздельные части парадинамической системы. 13 фаций было заложено на правом берегу реки Мая, 7 из которых были описаны в поселке Усть-Юдома на территории Республики Саха (Якутия), другие 7 фаций в местности Крестях и его окрестностей на территории Хабаровского края, также 2 фации были описаны на правом берегу реки Юдома правого притока реки Мая, остальные 2 фации были заложены на левом берегу реки Мая, в охотничьем уголье «Царь», и последняя была описана на острове, которая находится на левом берегу реки Мая.

Описание фаций по методу Н.Л. Беручашвили и В.К. Жучковой [8] включает характеристику морфолитогенной основы (поверхностные отложения, микро и нанорельеф), почвы (полно-профильные разрезы промежуточные прикопки с дополнительным описанием увлажнения) и фитоценоза (геоботанические описания).

Для составления ландшафтной карты бассейна использовали карту лесов Государственного комитета СССР по лесу 1990 года в масштабе 1:2500000 [9] и Мерзлотно-ландшафтную карту Республики Саха (Якутия) Института Мерзлотоведения СО РАН в масштабе 1:1500000 [5]. Картографирование проводилось путем векторизации привязанных растровых слоев тематических карт с корректировкой по данным дистанционного зондирования по геосервису Яндекс средствами QGIS.

### Результаты и обсуждение

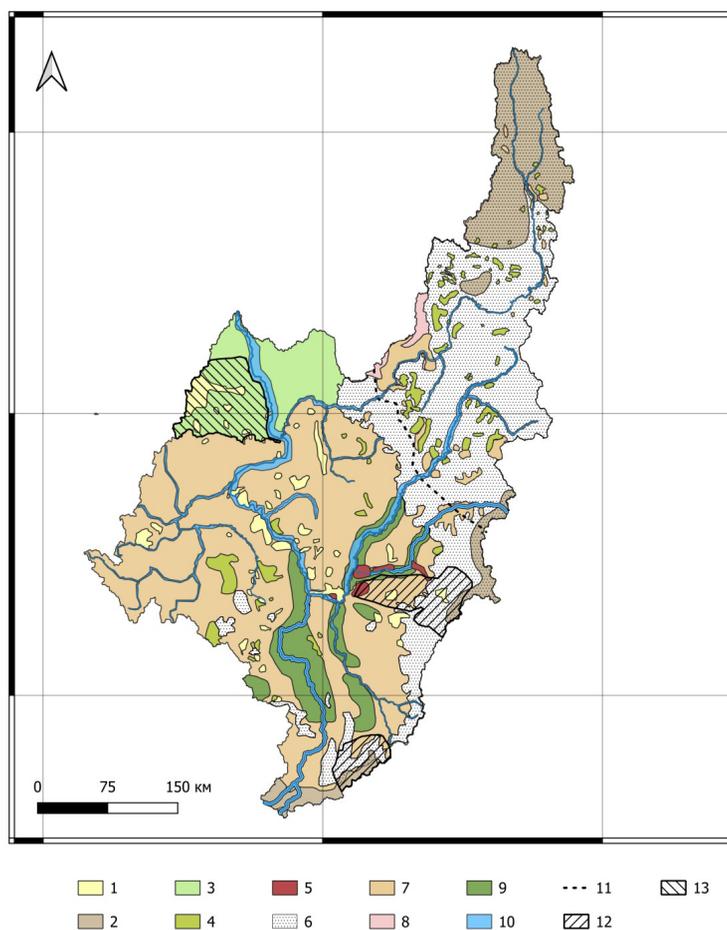
Растительность этой территории носит горный характер, большую ее часть занимают леса таежного типа (см. рис. 2). Континентальные территории Аяно-Майского района, входят в бо-реальное подцарство, в восточносибирскую провинцию Центральноякутской подпровинции. Здесь в составе флоры участвует значительное количество видов, характерных для Восточной Сибири и определяющих специфику растительного покрова территории. Типичными для бассейновой геосистемы являются среднетаежные лиственничные кустарниково-зеленомошные леса. В областях высотной поясности доминирует горная тайга в низкогорьях и заросли кедрового стланика для среднегорий.

Генетические комплексы ландшафтов бассейна представлены горными денудационными, денудационно-эрозионными, эрозионными глыбовыми, глыбово-складчатыми таежными лесами, также экзарационными ландшафтами горных тундр. В южной части преобладают денудационные, денудационно-эрозионные структурные, денудационные цокольные ландшафты межгорных равнин и предгорий, а также денудационные структурные ландшафты равнин. Контрастность в ландшафтной структуре междуречно-водораздельной части бассейна вносят сосновые и сосново-лиственничные леса, что характерно для Центрально-Якутской равнины. Сосняки занимают в основном песчаные и супесчаные субстраты на хорошо прогреваемых склонах. При этом на исследуемой территории практически нет сильнольдистых мерзлотных почв, поэтому термокарстовые процессы слабо представлены и не являются важным ландшафтообразующим фактором. Высотная поясность имеет упорядоченную структуру по схеме горная тайга – горное редколесье – подгольцовые кустарники – горная тундра – каменистые пустыни. В отличие от высотной поясности Северо-Востока Сибири [10] в высотной поясности хорошо выражен пояс кедровых стлаников. Характерной особенностью высотной поясности является отсутствие горного редколесья и тундры для склонов западной и южной экспозиции низкогорий.

Таежные ландшафты Средней Сибири характеризуются высокой долей послепожарных сукцессий, для исследуемого бассейна это тоже не исключение. По долинно-речным ландшафтам много постантропогенных сукцессий ландшафтов, выраженных в молодых лиственничниках с кустарниками и иванчайно-злаковыми долинными лугами, что свидетельствует о высокой антропогенной нагрузке на интрозональные ландшафты. В природопользовании более выражена высокая нагрузка на долинные ландшафты, так как местные сообщества используют их для рыболовства, туризма, охоты и рекреации, а также реки составляют важную транспортную сеть для горнодобывающей отрасли в бассейне.

Для ключевого участка Крестьях по материалам описания фаций составлена ландшафтная карта с контурами 6 групп ландшафтных фаций (см. рис.3). Долинные и пойменные ландшафты представлены хвощево-разнотравным ивняком с участием ольховника и багульниковым кустарниковым сосняком с участием ивняка и лиственницы на супесчаных пойменных почвах. На островах, где нету мерзлотной почвы имеются фации еловых лесов.

Анализ ландшафтной структуры ключевых участков позволяет отметить ряд интересных особенностей растительного покрова и рельефа, которые могут быть использованы для планировочных задач по развитию туризма по реке Мая. Значительное распространение малины по антропогенно-нарушенным ландшафтам (*Rubus fruticosus*) и шиповника (*Rosa cinnamomea*).



**Рис. 2.** Ландшафтная структура бассейна реки Мая

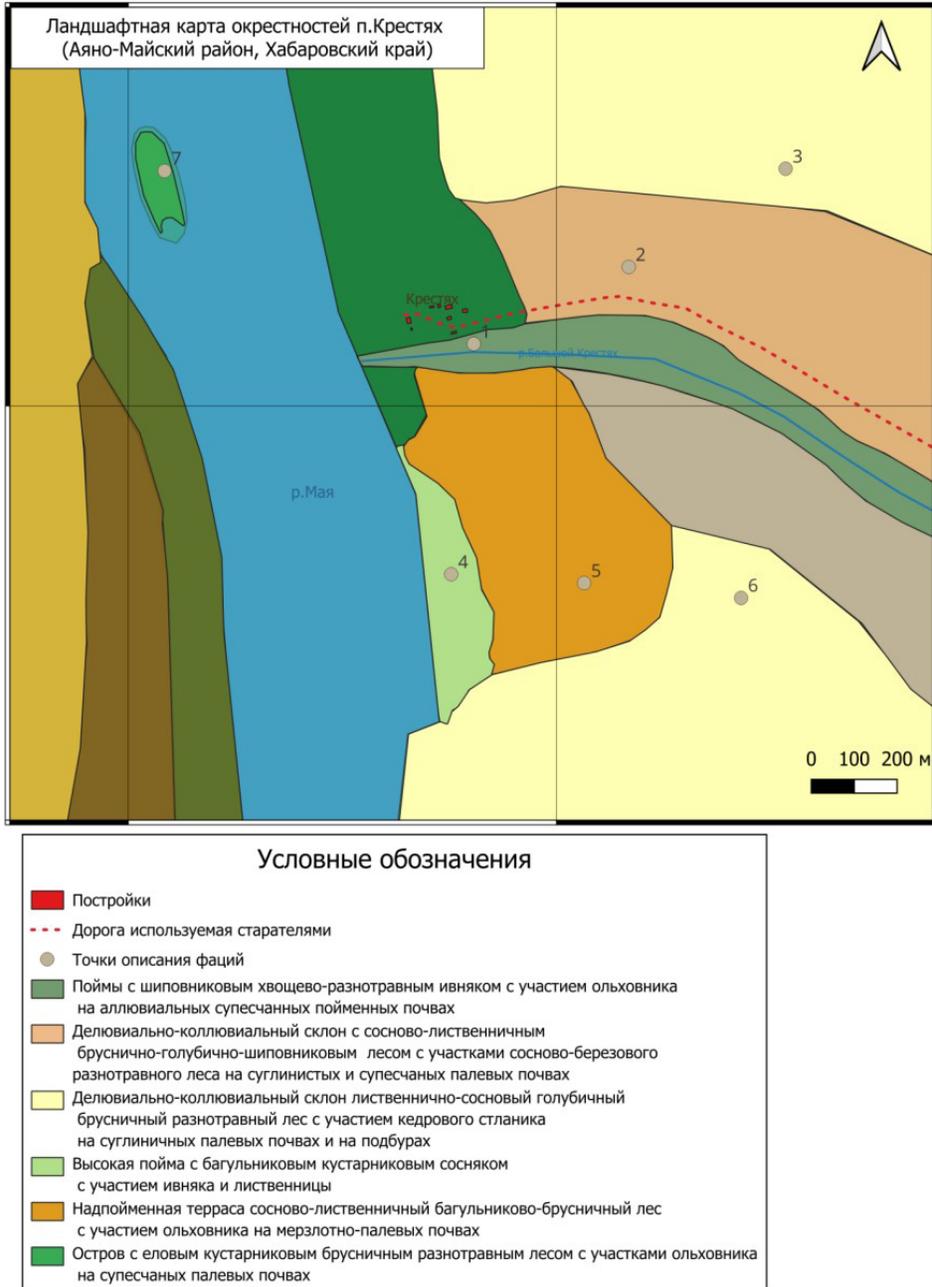
Легенда к карте ландшафтной структуры бассейна реки Мая

1 – среднетаежные сосново-лиственничные зеленомошные леса; 2 – среднетаежные лиственничные кустарничковые и зеленомошные в сочетании с мелкодолинными лугами; 3 – среднетаежные лиственничные кустарничковые и зеленомошные в сочетании с мелкодолинными лугами; 4 – заросли кедрового стланника кустарничковые в сочетании с лиственничными редколесьями; 5 – горные лиственничные редколесья с зарослями кедрового стланника в сочетании с каменистыми пустынями; 6 – горные кустарничковые и лишайниковые тундры в сочетании с зарослями кедрового стланника и каменистыми пустынями; 7 – лишайниковые каменистые пустыни, в сочетании с зеленомошными и лишайниковыми горными тундрами; 8 – долинные и пойменные участки с ельниками; 9 – долинные и пойменные луга и болота в сочетании островными лиственничными и еловыми лесами с ивовыми зарослями; 10 – высокие поймы с лиственничными и еловыми лесами в сочетании с пойменными лугами; 11 – Южная граница редкостойных лиственничных лесов; 12 – Джугджурский государственный природный заповедник; 13 – Государственный природный заповедник Чабда

**Figure 2.** Landscape structure of the Maya River basin

Legend to the map of the landscape structure of the Maya River basin

1 – medium-taiga pine-larch green-mossy forests; 2 – medium-taiga larch shrubby and green-mossy in combination with shallow meadows; 3 – medium-taiga larch shrubby and green-mossy in combination with shallow meadows; 4 – thickets of cedar shrubby in combination with larch woodlands; 5 – mountain larch woodlands with thickets of cedar strawberries in combination with stony deserts; 6 – mountain shrub and lichen tundra in combination with thickets of cedar and rocky deserts; 7 – lichen rocky deserts, combined with green moss and lichen mountain tundra; 8 – valley and floodplain areas with spruce forests; 9 – valley and floodplain meadows and swamps combined with island larch and spruce forests with willow thickets; 10 – high floodplains with larch and spruce forests combined with floodplain meadows; 11 – The southern border of rare-coniferous larch forests; 12 – Dzhugdzhur State Nature Reserve; 13 – Chabda State Nature Reserve



**Рис. 3.** Ландшафтная карта ключевого участка Крестях и ее окрестностей

Легенда к ландшафтной карте ключевого участка Крестях и его окрестностей: Группы ландшафтных фаций. 1) Поймы с шиповниковым хвощево-разнотравным ивняком с участием ольховника на аллювиальных супесчаных пойменных почвах; 2) Деллювиально-коллювиальный склон с сосново-лиственничным бруснично-голубично-шиповниковым лесом с участками сосново-березового разнотравного леса на суглинистых и супесчаных палевых почвах; 3) Деллювиально-коллювиальный склон лиственнично-сосновый голубичный брусничный разнотравный лес с участием кедрового стланика на суглинистых палевых почвах и на подбурях; 4) Высокая пойма с багульниковым кустарниковым сосняком с участием ивняка и лиственницы на супесчаных пойменных почвах; 5) Надпойменная терраса сосново-лиственничный багульниково-брусничный лес с участием ольховника на суглинистых аллювиальных долинных почвах; 6) Еловые кустарниково брусничные разнотравные леса с участками ольховника на аллювиальных супесчаных пойменных почвах;

Ландшафты других ключевых участков исследования представлены следующими фациями: Ландшафты окрестностей поселка Усть-Юдома: 1) Склон с разнотравным сосново-осиновым лесом на аллювиальных суглинистых почвах; 2) Надпойменная терраса с разнотравным брусничным сосновым лесом на мерзлотно-таежных суглинистых почвах; 3) Надпойменная терраса с багульниковым лиственнично-сосновым лесом на мерзлотно-таежных суглинистых почвах; 4) Надпойменная терраса с зарослями ивы сосново-березовым болотом; 5) Надпойменная терраса с пырейно-разнотравным кустарниковым брусничным осиново-сосновым лесом на мерзлотно-таежных суглинистых почвах; 6) Надпойменная терраса с пырейно-разнотравным осиново-сосновым лесом с участками шиповника и зарослей малины на мерзлотно-таежных суглинистых почвах; 7) Надпойменная терраса с разнотравным березово-сосновым лесом с участием шиповника на мерзлотно-таежных суглинистых почвах;

Ландшафты ключевого участка на правом берегу реки Юдома: 1) Надпойменная терраса с разнотравным бруснично-багульниковым лиственничным лесом с участием ольховника на иллювиально-железистых подзолистых супесчано-песчаных почвах; 2) Надпойменная терраса с разнотравным бруснично-багульниковым елово-лиственничным лесом с участием ольховника на иллювиально-железистых подзолистых супесчано-песчаных почвах; Ландшафты охотничьего угодья «Царь»:

1) Надпойменная терраса с осоково-разнотравным брусничным голубично-шиповниковым лиственничным лесом с участием ельника на аллювиальных суглинистых почвах; 2) Надпойменная терраса с хвощево-папоротниково-разнотравным княженичным лиственничным лесом с участками ольховника на аллювиальных суглинистых почвах;

**Figure 3.** Landscape map of the key area of Krestyakh and its surroundings

Legend to the landscape map of the key area of Krestyakh and its surroundings: Groups of landscape facies.

1) Floodplains with rosehip horsetail-mixed willow with the participation of alder on alluvial sandy loam floodplain soils; 2) Delluvial-colluvial slope with pine-larch cranberry-blueberry-rosehip forest with sections of pine-birch mixed grass forest on loamy and sandy loam soils; 3) Delluvial-colluvial slope of larch- pine blueberry lingonberry mixed herb the forest with the participation of cedar elfin on loamy pale yellow soils and on podburs; 4) High floodplain with wild rosemary shrubby pine with the participation of willow and larch on sandy loam floodplain soils; 5) Above-floodplain terrace pine-larch bagulnik-lingonberry forest with the participation of alder on loamy alluvial valley soils; 6) Spruce shrub-lingonberry mixed grass forests with alder patches on alluvial sandy loam floodplain soils;

The landscapes of other key areas of the study are represented by the following facies: Landscapes of the surroundings of the Ust-Yudoma settlement: 1) A slope with a mixed pine-aspen forest on alluvial loamy soils; 2) An over-floodplain terrace with a mixed lingonberry pine forest on permafrost-taiga loamy soils; 3) Above-floodplain terrace with a wild rosemary larch-pine forest on permafrost-taiga loamy soils; 4) Above-floodplain terrace with willow thickets and a pine-birch swamp; 5) An over-floodplain terrace with wheatgrass-mixed shrub lingonberry aspen-pine forest on permafrost-taiga loamy soils; 6) Above-floodplain terrace with wheatgrass-mixed aspen-pine forest with areas of rosehip and raspberry thickets on permafrost-taiga loamy soils; 7) An above-floodplain terrace with a mixed birch-pine forest with the participation of rosehip on permafrost-taiga loamy soils;

Landscapes of the key site on the right bank of the Yudoma River: 1) Above-floodplain terrace with mixed lingonberry-wild rosemary larch forest with the participation of alder on illuvial-ferruginous podzolic sandy loam-sandy soils; 2) Above-floodplain terrace with mixed lingonberry-wild rosemary spruce-larch forest with the participation of alder on illuvial-ferruginous podzolic sandy loam soils; Landscapes of the hunting ground "Tsar":

1) Above-floodplain terrace with sedge-mixed lingonberry blueberry-rosehip larch forests with spruce forests on alluvial loamy soils; 2) Above-floodplain terrace with horsetail-fern-mixed princely larch forest with alder patches on alluvial loamy soils;

Значительно распространение еловых лесов по речным островам и высоким поймам, обеспечивающих высокое ландшафтное разнообразие. Высокая пожароопасность коренных лиственных лесов.

В отличие от других регионов для бассейна реки Мая характерна высокая ресурсная значимость долинно-речной части бассейновой геосистемы, отсюда и его преобладающая антропогенная трансформация. Антропогенная нагрузка особенно сильно возрастает в летний период по реке Мая и ее крупным притокам. Данный факт требует регулирования путем увеличения особо охраняемых природных территорий. Учитывая, высокий туристско-рекреационный потенциал долинных ландшафтов реки Мая, следует улучшить регулирования туристской деятельности в условиях межрегионального характера речного туризма на данной территории.

### **Заключение**

Изучение пространственной структуры и инвентаризация ландшафтов является важной первоначальной задачей понимания структурно-динамической ландшафтной организации и проведения ландшафтного планирования. В данном исследовании подведены результаты полевых ландшафтных исследований по реке Мая, проведенных летом 2024 года по описанию структурных элементов типичных фаций по бассейну р.Мая.

Положение бассейновых геосистем на северо-восточной окраине Средней Сибири и в южной части гор Северо-Востока Сибири формирует один из самых гумидных из-за влияния Тихого Океана и, одновременно, теплых в континентальной части климатических условий для таежных ландшафтов. При этом относительно благоприятные мерзлотные условия, даже в условиях высокого пирогенного влияния не создает сильных контрастов в пространственной структуре ландшафтов как в Центральной Якутии. Поэтому бассейн р. Мая имеет благоприятные условия для сельского хозяйства, туризма и развития населенных пунктов (наследов) Усть-Майского района Республики Саха (Якутия) и Аяно-Майского района Хабаровского края. При этом следует обратить внимание на антропогенную перенагрузку долинных ландшафтов р. Мая и дальнейшее территориальное развитие требует внедрения подходов ландшафтно-экологического планирования.

### **Литература**

1. Теория и методология ландшафтного планирования / А. В. Хорошев, И. А. Авессаломова, К. Н. Дьяконов [и др.]; Географический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК, 2019. – 444 с.
2. Корытный, Л. М. Бассейновая концепция: от гидрологии к природопользованию / Л. М. Корытный // География и природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 5-16.
3. Бевз, В. Н. Бассейновые геосистемы Центрального Черноземья как объект ландшафтного планирования / В. Н. Бевз // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения: Материалы XIV Международной ландшафтной конференции. В 2-х томах, Воронеж, 17–21 мая 2023 года / Отв. редакторы А.С. Горбунов, А.В. Хорошев, О.П. Быковская. Том 1. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2023. – С. 198–200.
4. Глотов, А. А. Основные этапы развития долинно-речных ландшафтов Воронежской области / А.А. Глотов, В.Б. Михно // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. – Воронеж, 2013. – № 1. – С. 40-46.
5. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., Васильев Н.Ф., Макаров В.С. и др.; гл. ред. М.Н. Железняк – Якутск: ИМЗ СО РАН, 2018. 2 л. Фонды ИМЗ.
6. Захаров М.И. Мелкомасштабное ландшафтное картографирование территорий традиционного природопользования Республики Саха (Якутия) / М. И. Захаров, В. В. Филиппова, А. Н. Саввинова, А. С. Федорова // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 228-243.

7. Филиппова, В. В. Локальные особенности расселения и динамика численности населения Усть-Майского улуса (района) в XX-XXI вв / В. В. Филиппова // Северо-Восточный гуманитарный вестник. – 2022. – № 1(38). – С. 34-50.
8. Беручашвили Н.Л. Методы комплексных физико-географических исследований / Н.Л. Беручашвили, В.К. Жучкова. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 320 с.
9. Леса СССР. Масштаб 1:2500000 / ред. Н.А. Зубцова, Т.Г. Луговская, Е.Б. Телябкина – Новосибирская картографическая фабрика, Новосибирск: ГУГК СССР, 1990.
10. Ландшафты Якутии / Ю. Г. Данилов, А. Н. Федоров, Ж. Ф. Дегтева [и др.]. – Якутск : Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 2016. – 76 с.

### References

1. Khoroshev AV, Avessalomova IA, Diakonov KN [et al.]. Theory and methodology of landscape planning/ Geography Department of the Lomonosov Moscow State University. – Moscow: Limited Liability Company Partnership of scientific publications KMK; 2019:444 с. In Russia
2. Korytny LM. Basin concept: from hydrology to nature management. Geography and Natural Resources, 2017.№ 2:5-16. In Russia
3. Bezv, VN. Basin geosystems of the Central Black Earth Region as an object of landscape planning. Theoretical and applied problems of landscape geography. VII Milkov Readings: Proceedings of the XIV International Landscape Conference. In 2 volumes, Voronezh. 2023:Vol. 1:198-200. In Russia
4. Glotov AA, Mikhno VB. Main stages of development of valley-river landscapes of the Voronezh region. Vestnik of Voronezh State University. Series Geography. Geoecology: Voronezh. 2013;1:40-46. In Russia
5. Fedorov AN, Torgovkin YI, Shestakova AA, Vasiliev NF, Makarov VS, etc. Permafrost landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1: 1 500 000. Yakutsk: IMZ SB RAS; 2018:2 л. IMZ fonds. In Russia
6. Zakharov M.I. Filippova VV, Savvinova AN, Fedorova AS. Small-scale landscape mapping of territories of traditional environmental management of the Republic of Sakha (Yakutia). InterCarto. InterGIS. 2023;29.2:228-243. In Russia
7. Filippova VV. Local features of settlement and population dynamics of the Ust-Maisky ulus (district) in the XX-XXI centuries. North-Eastern Humanitarian Bulletin. 2022;1(38):34-50. In Russia
8. Beruchashvili NL, Zhuchkova VK. Methods of complex physical-geographical research. Moscow: Moscow State University Publishing House; 1997:320. In Russia
9. Zubtsova NA, Lugovskaya TG, Telyabkina EB. (eds.) Forests of the USSR. Scale 1:2500000. Novosibirsk Cartographic Factory. Novosibirsk: GUGK USSR; 1990. In Russia
10. Danilov YuG, Fedorov AN, Degteva ZhF et al. Landscapes of Yakutia. Yakutsk: North-Eastern Federal University named after. M.K. Ammosova; 2016:76. In Russia

### Сведения об авторах

*ГЕРАСИМОВА Даяна Ивановна* – студент эколого-географического отделения Института естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: daianagerasimova1234@gmail.com

*GERASIMOVA Dayana I.* – student, Ecological and Geographical Department, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*ЗАХАРОВ Моисей Иванович* – к.г.н., доцент эколого-географического отделения Института естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: mi.zakharov@s-vfu.ru

*ZAKHAROV Moisey I.* – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Ecological and Geographical Department, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*ГОЛОВАНОВ Алексей Олегович* – ст. преп. эколого-географического отделения Института естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. E-mail: mi.zakharov@s-vfu.ru

*GOLOVANOV Alexey O.* – Senior Lecturer, Ecological and Geographical Department, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*Н.С. Евсеева<sup>1</sup>, А.И. Петров<sup>1</sup>, А.В. Хон<sup>1,2</sup>, М.А. Каширо<sup>1</sup>, З.Н. Квасникова<sup>1</sup>*✉

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем

СО РАН, Томск, Россия

✉ zojkwas@rambler.ru

## ВОДНАЯ ЭРОЗИЯ ПОЧВ ОТ СТОКА ТАЛЫХ СНЕГОВЫХ ВОД В АГРОЛАНДШАФТАХ ЮГО-ВОСТОКА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

**Аннотация.** В статье изложены итоги многолетних исследований водной эрозии почв от стока талых снеговых вод в агроландшафтах юго-востока Томской области. Эрозия почв является одним из основных процессов, способствующих уничтожению почвенного покрова и негативно влияющих на экологическую и продовольственную безопасность. Поэтому изучение опасных процессов деградации почвенного покрова под влиянием смыва осадками является актуальным научным направлением, что отражено в программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период. Оценка интенсивности развития эрозии почв в бассейне р. Басандайка проводилась на основе многолетних исследований с использованием комплексного подхода, включающего полустационарные и маршрутные наблюдения. Установлено, что интенсивность снеготаяния и развитие эрозии почв в исследуемом районе зависят от сочетания природных и антропогенных факторов, таких как экспозиция склона, крутизна, микрорельеф, агрофон, глубина промерзания почв, толщина снежного покрова и его плотность. Выявлено, что наибольшая интенсивность смыва почв наблюдается на склонах южной экспозиции, особенно в годы с активным снеготаянием по боронованной зяби. Так, наибольшая величина смыва почв за период с 1988 по 2024 годы на склонах южной экспозиции сельскохозяйственных угодий наблюдалась у лесополос и достигала 40-80 м<sup>3</sup>/га по зяби, а по стерне и травам – 0,5-3 м<sup>3</sup>/га. Чередование полос стерни и зяби на пашне существенно снижает интенсивность смыва.

Определены значения модулей максимального смыва почв заданной ежегодной вероятности превышения для разных ключевых участков. Такие исследования необходимы для разработки рекомендаций по оптимизации агротехнических мероприятий и моделей для прогнозирования развития эрозии почв в условиях глобального изменения климата.

**Ключевые слова:** Томская область, агроландшафты, водная эрозия, смыв почв.

**Для цитирования:** Евсеева Н.С., Петров А.И., Хон А.В., Каширо М.А., Квасникова З.Н. Водная эрозия почв от стока талых снеговых вод в агроландшафтах юго-востока Томской области. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 104–119. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-104-119

*N.S. Evseeva<sup>1</sup>, A.I. Petrov<sup>1</sup>, A.V. Hon<sup>1,2</sup>, M.A. Kashiro<sup>1</sup>, Z.N. Kvasnikova<sup>1</sup>*✉

<sup>1</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Institute for Monitoring of Climate and Ecological Systems

SB RAS, Tomsk, Russia

✉ zojkwas@rambler.ru

## WATER EROSION OF SOILS FROM RUNOFF OF MELT SNOW WATER IN AGROLANDSCAPES OF SOUTHEASTERN TOMSK OBLAST

**Abstract.** The article presents the results of long-term studies of water erosion of soils from meltwater runoff in agricultural landscapes of the southeast of Tomsk Oblast. Soil erosion is one of the main processes that contribute to the destruction of the soil cover and negatively affect environmental and food security. Therefore, the study of dangerous processes of soil degradation under the influence of precipitation washout is a relevant scientific area, which is reflected in the program of fundamental scientific research in the Russian Federation for the long term. The assessment of the intensity of soil erosion in the Basandaika River basin was carried out on the basis of long-

term studies using an integrated approach, including semi-stationary and route observations. It was found that the intensity of snowmelt and the development of soil erosion in the study area depend on a combination of natural and anthropogenic factors, such as slope exposure, steepness, microrelief, agricultural background, soil freezing depth, snow cover thickness and density. It was found that the highest intensity of soil erosion is observed on southern slopes, especially in years with active snowmelt on harrowed fallow land. Thus, the highest value of soil erosion for the period from 1988 to 2024 on southern slopes of agricultural lands was observed near forest belts and reached 40-80 m<sup>3</sup>/ha for fallow land, and 0.5-3 m<sup>3</sup>/ha for stubble and grass. Alternating strips of stubble and fallow land on arable land significantly reduces the intensity of erosion. The values of the modules of maximum soil erosion of a given annual probability of exceedance for different key areas were determined. Such studies are necessary for developing recommendations for optimizing agrotechnical measures and models for predicting the development of soil erosion in the context of global climate change.

**Keywords:** Tomsk Oblast, agricultural landscapes, water erosion, soil loss.

**For citation:** Evseeva N.S., Petrov A.I., Hon A.V., Kashiro M.A., Kvasnikova Z.N. Water erosion of soils from runoff of melt snow water in agrolandscapes of southeastern Tomsk Oblast *Vestnik of NEFU. Earth Sciences*. 2024, № 4. Pp. 104–119. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-104-119

## Введение

Изучение опасных процессов деградации почв является актуальным научным направлением, что отражено в программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период [1]. К таким процессам относится водная и ветровая эрозия почв, способствующая уничтожению почвенного покрова. Развита эрозия почв и на территории России: почвенный фонд составляет 16 млн. км<sup>2</sup>, с освоенной и нарушенной гумусосферой – 6 млн. км<sup>2</sup>, а полностью уничтожен гумусовый горизонт на площади 3,1 млн км<sup>2</sup> [2].

Глобальные изменения климата и развитие агротехнических технологий сопровождаются увеличением экологических рисков ускоренного развития эрозионных процессов, что усложняет устойчивое развитие сельских территорий и обостряет региональные проблемы продовольственной и экологической безопасности на основной территории России и других стран [3, 4]. Около 2/3 явлений эрозии вызвано действием воды [3]. По видам поверхностного стока различают три вида водной эрозии: тальными снеговыми водами, дождевыми водами (ливни и ливневые дожди), ирригационную. Анализ опубликованных данных по эрозии почв в пределах нашей страны показывает, что она развита практически на всех сельскохозяйственных угодьях, в том числе и на юго-востоке Западно-Сибирской равнины, где расположена Томская область.

## Объект, материалы и методы исследования

Объект исследования – юго-восточная часть территории Томской области, где сосредоточены основные сельскохозяйственные угодья (1236,1 тыс. га) [5], в пределах которых эрозионные процессы приводят к уменьшению содержания гумуса в пахотном слое почв [6]. С пахотных угодий Томской области площадью 671,1 тыс. га в 1980 г. было смыто 1946 тыс. тонн почвы, в 2012 г. с площади пашни 429,8 тыс. га – 1160,4 тыс. тонн почвы [7]. В настоящее время площадь пашни в Томской области составляет 646,3 тыс. га [5]. В агропроизводство в пределах исследуемой территории вовлечены серые лесные оподзоленные почвы – это основа пахотных угодий. Согласно В.А. Хмелеву, водно-эрозионными процессами в той или иной степени подвержено 150 тыс. га пахотных земель и примерно 200 тыс. га пахотных земель эрозионно опасны [6].

Цель данной работы – оценка интенсивности развития эрозии почв от стока талых снеговых вод в агроландшафтах Томского района (на примере ключевого участка) с учетом агрофона и микрорельефа. Для реализации поставленной цели авторами данной работы, начиная с 1985 г. ведутся наблюдения за развитием эрозии почв при снеготаянии. Полустационарные наблюдения проводятся в бассейне р. Басандайки площадью 402 км<sup>2</sup> на 4-х ключевых участках, расположенных на распаханых склонах разной экспозиции – южной и северной – это 2 ключевых участка в «Лучаново», «10-й километр», «Лесопитомник». Маршрутные обследования пашни

после снеготаяния проведены также в пределах агроландшафтов Асиновского, Зырянского, Томского и Кожевниковского районов юга Томской области. В данной работе будут рассмотрены материалы, полученные за период с 1988 по 2024 гг. на ключевом участке «Лучаново»: данные по накоплению снежного покрова, влагозапасам, интенсивности снеготаяния, а также динамики развития эрозии почв при снеготаянии и влияние на этот процесс микрорельефа пашни и состояния агрофона.

Авторами работы были использованы следующие методы: снегомерные работы в микромасштабе (замеры мощности снежного покрова через 5-10 м. в зависимости от микрорельефа пашни). По данным снегосъемок рассчитывались снегозапасы на ключевых участках; по методам Е.В. Попова и В.Д. Комарова [8] определялась среднесуточная интенсивность снеготаяния, в период схода снежного покрова измерялись скорости поверхностного стекания воды по склонам в микроруслах, дренирующих пашню. После снеготаяния проводился учет величины эрозии по замеру объема струйчатых размывов через 1-5 м. по их длине с учетом параметров микрорусла. На основании многолетних полевых измерений выполнялись расчеты модуля смыва заданной вероятности превышения согласно [9].

Развитие эрозии почв от стока талых снеговых вод обусловлено сочетанием природных и антропогенных факторов. Из природных факторов наиболее важны: климатические (осадки, выпадающие в зимний период, температурный режим, глубина промерзания почв и пр.); генезис покровных отложений; рельеф (крутизна, длина, форма склонов, горизонтальное расчленение и др.); почвенные условия (гранулометрический состав, содержание гумуса и др.), а также антропогенная сельскохозяйственная деятельность. Причем, неодинаковые виды обработки земли оказывают различное влияние на эрозионные процессы. Рассмотрим перечисленные факторы на примере одного из ключевых участков бассейна р. Басандайка, типичного для Томь-Яйского междуречья в пределах юго-востока Томской области (рис. 1).



Рис. 1. Местоположение ключевого участка «Лучаново» в пределах Томь-Яйского междуречья

Figure 1. Location of the key Luchanovo site within the Tom-Yaya interfluvium

Ключевой участок «Лучаново» расположен в 20 км к юго-востоку от г. Томска в пределах водораздельной равнины между р. Томь и р. Басандайка. Абсолютная высота рельефа местности здесь изменяется от 120 до 160 м., а относительные – от 0,2-1,0 до 25-30 м. Подробно природные условия, способствующие развитию водной эрозии охарактеризованы нами ранее [10-12].

### Результаты исследования и их обсуждение

Необходимым элементом оценки эрозии почв талыми водами является наблюдение за динамикой снежного покрова (СП) и процесса снеготаяния в сочетании с учетом геокриологической обстановки. Проведенные в 1988-2024 годы в различных ландшафтных условиях ежегодные

снегомерные работы в конце зимы на момент его наибольшего накопления выявили существенные временные вариации мощности снежного покрова в различных урочищах (рис. 2).

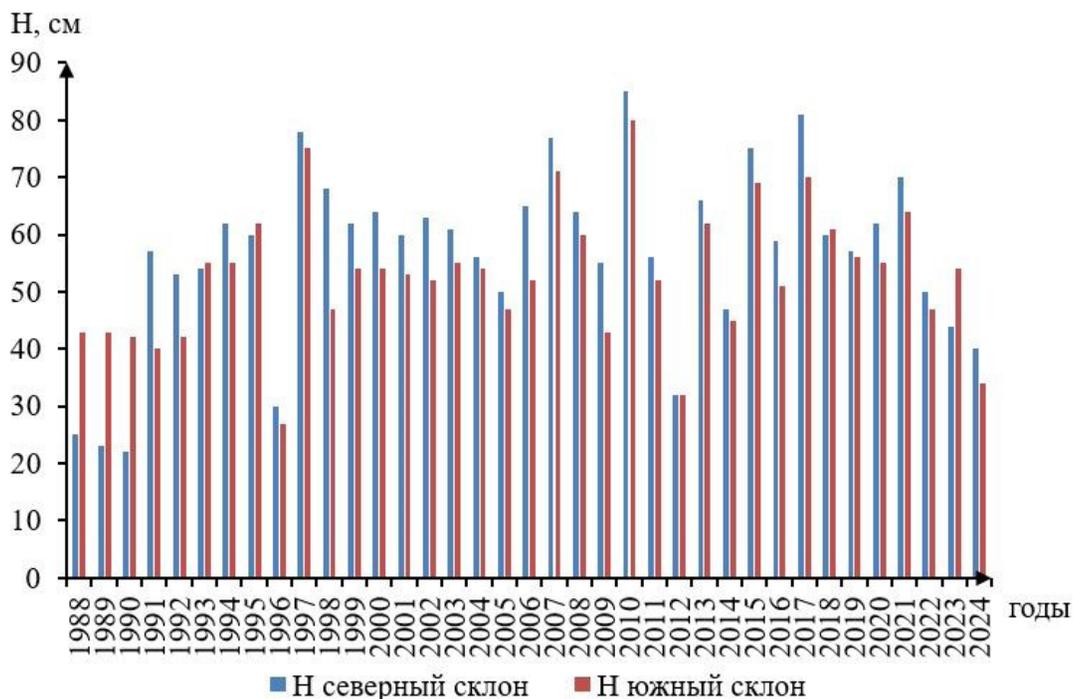


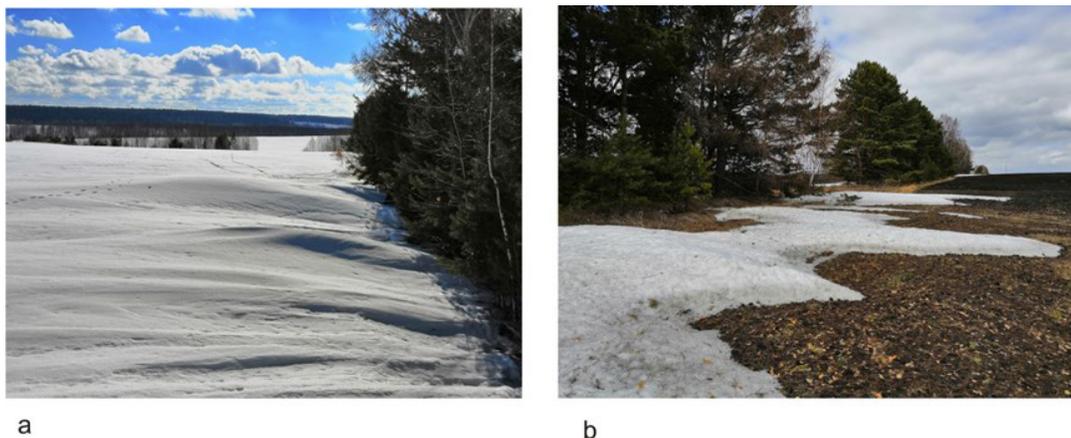
Рис. 2. Толщина снежного покрова на ключевом участке «Лучаново»

Figure 2. Snow cover thickness in the key Luchanovo site

Наибольшая мощность СП на изучаемом ключевом участке «Лучаново» наблюдалась в конце зимы 2009-2010 года и составила на пашне северного склона 85 см., на южном – 80 см. При сравнении данных мощности СП за период наблюдения на распаханых полевых участках северного и южного склонов отмечается, что в 78 % случаев на распаханном склоне пашни северной экспозиции мощность снежного покрова выше, чем на распаханых склонах пашни южной экспозиции. Пространственное распределение мощности СП по поверхности пашни также отличается большой неравномерностью – от нескольких сантиметров на повышенных продуваемых участках до 200-240 см. в сугробах у лесополос (рис. 3а). Сугробы в депрессиях рельефа и у лесополос сохраняются до первой декады мая (2003, 2004, 2008, 2010, 2023 гг.) (рис. 3б). Плотность СП в конце зимы перед началом снеготаяния на пашне варьирует от 0,20 до 0,32 г/см<sup>3</sup>, достигая в разные годы в отдельных точках на склонах южной экспозиции 0,4 г/см<sup>3</sup>.

Основная черта современной геокриологической обстановки на исследуемой территории формирование длительного сезонного промерзания поверхностных пород. Глубина их промерзания зависит от различий в толщине снежного покрова, температурном режиме, гранулометрическом составе почвогрунтов, микрорельефе пашни, влажности почв.

Эти и другие различия определяют значительную изменчивость глубины промерзания почв в пространстве и времени. Так, в 2005 г. глубина промерзания почв составила 51-100 см. В теплую зиму 2008 г – от 23 до 94 см., в 2010 г. (на редкость холодную зиму за последние 100 лет) – 75-150 см [13]. В зиму 2011-2012 г. погодные условия обусловили слабое снегонакопление, что способствовало глубокому промерзанию почвы: глубина промерзания была на 20-30 см. больше среднееголетней [14]. В 2015 г. – на распаханном плакоре пашни Лучановского участка в разрезе глубиной более 2 м. были вскрыты морозобойные трещины. Глубина их про-



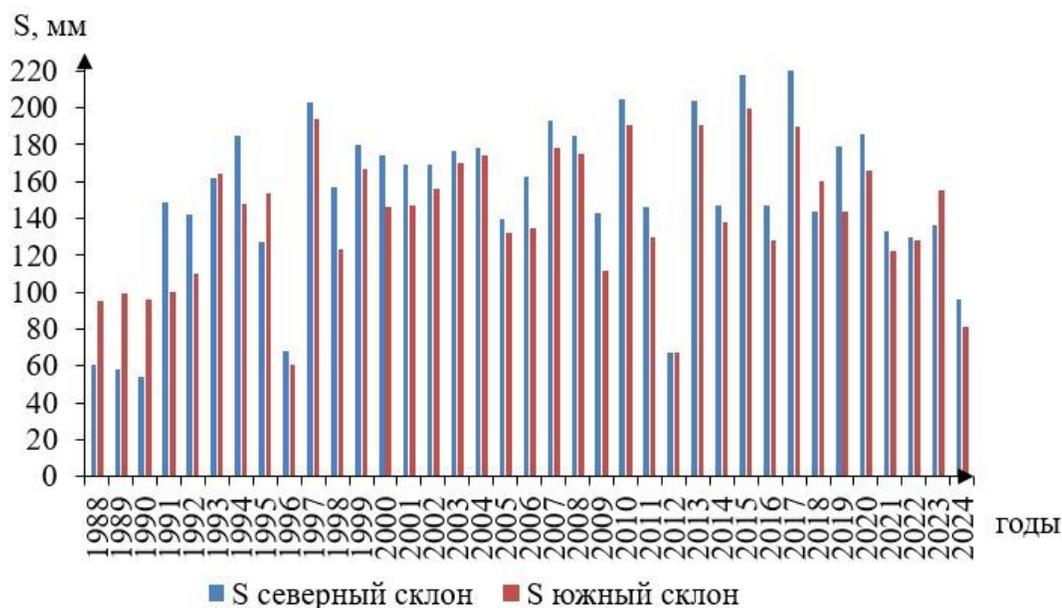
**Рис. 3.** Сугробы на распаханном склоне южной экспозиции Лучановского участка:  
 а) 16 марта 2019; б) 27 апреля 2019 (фото М.А. Каширо)

**Figure 3.** Snowdrifts on the plowed slope of the southern exposure of the Luchanovso site:  
 а) March 16, 2019; б) April 27, 2019 (photo by M.A. Kashiro)

никовения составила 85 см. [15]. Анализ литературных источников и полевых наблюдений авторов показал, что при мощности снежного покрова от 0 до 30 см. глубина промерзания почв составляет 100-200 см., при мощности СП от 30 до 50 см – 70-135 см., при мощности СП 50-60 см глубина промерзания наблюдалась 40-60 см [16, 17]. Средняя дата устойчивого промерзания почвы приходится на 1 ноября, самая поздняя – на 15 ноября, самая ранняя на 15 октября. Средняя из максимальных глубин промерзания составляет 108 см и отмечается в марте [18]. Продолжительность оттаивания почв варьирует от 17 до 59 дней, составляя в среднем 35 дней. В результате в пределах агроландшафтов Лучановского участка талый сток воды и смыв почв происходит ежегодно, но с разной степенью интенсивности, зависящей от сочетания разных факторов, в том числе от состояния агрофона. Подробные сведения о динамике мощности снежного покрова в сочетании со сведениями о плотности снега и промерзании могут оказаться единственным имеющимся материалом при оценке плоскостной эрозии. С их помощью уже можно получить приближенную количественную характеристику влагозапаса в снежном покрове, что, в свою очередь, позволит оценить потенциальный смыв.

Мощность СП и его плотность определяют влагозапас, который также колеблется по годам и зависит от особенности местоположений урочищ. В частности, на пашне южного склона влагозапас изменяется от 61 до 200 мм., составляя в среднем 143 мм.; на пашне северного склона – от 61 до 220 мм. в среднем 153 мм. (рис. 4); в кедровом лесу – от 51 до 171 мм., в среднем – 122 мм. слоя воды.

В таблице 1 приведены оценки параметров кривых распределения влагозапасов в различных урочищах на ключевом участке «Лучаново», определенных в соответствии со Сводом правил [9] по определению основных гидрометеорологических характеристик. Перед определением оценок параметров ряды проверялись на генетическую и статистическую однородность по статистическим критериям Стьюдента (однородность по среднему значению) и Фишера (однородность по дисперсии). Проверка показала, что ряды однородны по условиям формирования снежного покрова [9]. Статистическая однородность рядов наблюдений за параметрами снежного покрова позволяют делать уверенную оценку как среднего значения, так и значений с заданной вероятностью превышения. Далее по методу моментов были определены параметры распределения и их относительные среднеквадратические ошибки. Ошибки оценок параметров не превышали допустимых.



**Рис. 4.** Динамика влагозапаса в снежном покрове на распаханных склонах разной экспозиции ключевого участка «Лучаново»

**Figure 4.** Dynamics of moisture reserves in the snow cover on plowed slopes of different exposures the key Luchanovo site

Таблица 1 – Параметры кривых распределения влагозапасов на склонах разной экспозиции ключевого участка «Лучаново» за 1988–2024 гг.

Table 1 – Parameters of moisture distribution curves on slopes of different exposures of the key Luchanovo site for 1988–2024

Урочища	Параметры запасов воды в снежном покрове						
	*Scp, мм	δ Scp	Cv	δ Cv	Cs	Cs/Cv	r(1)
Поле (пашня) южный склон	81	6,43	0,74	7,51	0,91	1,23	0,55
Поле (пашня) северный склон	96	6,22	0,56	9,00	0,22	0,39	0,55

\*Примечания: *Scp* – среднемноголетнее значение водозапаса, *δ Scp* – ошибка определения среднего значения, *Cv* – коэффициент вариации (безразмерная величина, характеризующая разброс значений), *Cs* – коэффициент асимметрии, указывающий на преобладание значений больше или меньше среднего, *r(1)* – коэффициент автокорреляции первого порядка, указывающий на степень зависимости последующего члена временного ряда от предыдущего.

Помимо влагозапаса в снежном покрове важен режим поступления влаги, который зависит от интенсивности снеготаяния, а также от глубины оттаивания почв. Интенсивность снеготаяния в работе определялась по методу температурного коэффициента [19, 20]. Расчеты суточной интенсивности снеготаяния показали близкие результаты (табл. 2). Высокие показатели интенсивности снеготаяния (20 мм./сут и более) наблюдались и в другие годы.

Таблица 2 – Примеры интенсивности снеготаяния, мм./сут в разные годы, определенные разными методами

Table 2 – Examples of snowmelt intensity, mm/day in different years, determined by different methods

Интенсивность снеготаяния по методу Е.Г. Попова [20]	Интенсивность снеготаяния по методу В.Д. Комарова [20]
Наибольшая – 22,9 (1994-1995)	Наибольшая – 22,6 (1994-1995)
Наименьшая – 8,7 (1997-1998)	Наименьшая – 9,8 (1997-1998)
Средняя – 15,9 (1988-2017)	Средняя – 12,9 (1988-2017)

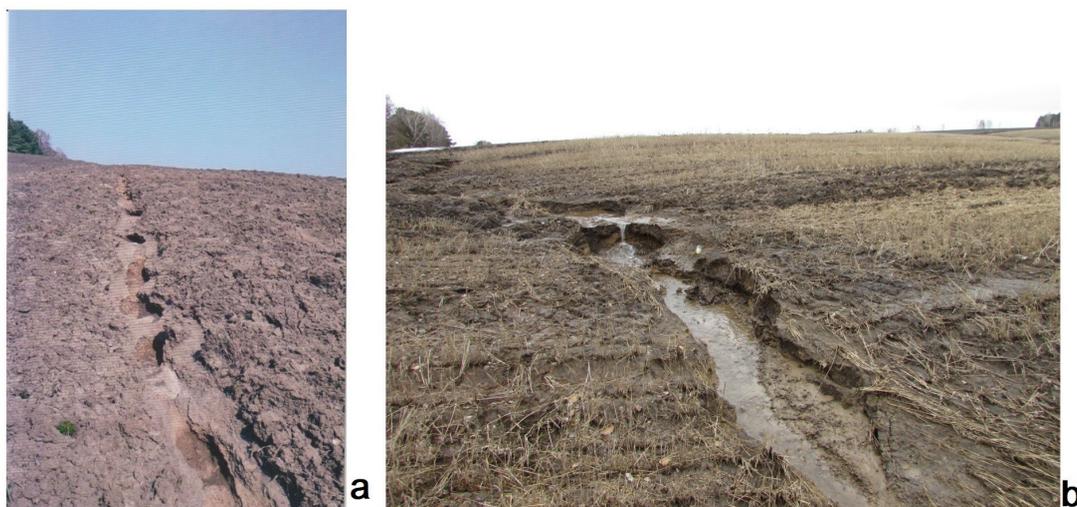
Наибольшая суточная интенсивность снеготаяния наблюдалась для открытого участка пашни (северный склон) – 29,5 мм./сут. и, соответственно, для южного склона – 52,5 мм./сут. Причем эта максимальная суточная интенсивность приходится на середину второй фазы таяния СП. При расчете разными методами интенсивности снеготаяния необходимо учитывать, что в заключительную фазу снеготаяния за отдельные сутки интенсивность получается чуть выше (на 3-5 мм). В это период времени на открытых участках пашни снежный покров почти полностью сошел, остались только отдельные пятна снега, сохранившиеся близ лесных полос и в значительных понижениях рельефа (см. рис. 3b). В заключительную фазу снеготаяния водоотдача значительно превосходит интенсивность снеготаяния на склонах наблюдается ручейковый сток. Проведенные нами измерения интенсивности снеготаяния в дневные часы показали, что за 2 ч. 45 мин. слой стаивания изменялся от 12 до 17 мм., что составляет от 23 до 50 % суточной величины. Распаханные почвы в зависимости от экспозиции склона в это время оттаивают на глубину от 1-5 до 15-35 см.

Вспомогательным направлением исследований следует считать наблюдения за динамикой склоновых потоков. Многолетние наблюдения за склоновым стоком позволяют сопоставить крутизну склонов и скорости водного потока в микроручейковой сети. В ходе полевых исследований нами наблюдалось следующее соответствие диапазона скоростей течения и крутизны склона: при крутизне до 1° диапазон скоростей составляет от 0,01 до 0,15 м/с; при крутизне 1-2° наблюдались скорости 0,1-0,2 м/с; при крутизне 1-3° – скорости 0,25-0,4 м/с; при крутизне 3-5° скорости 0,3-0,5 м/с. Замечено, что при скоростях 0,7-1,5 м/с на склонах с крутизной 5-7° и более образуются промоины глубиной до 1,5 м. с порожистым руслом (рис. 5 а) и формированием «глинистых галек» диаметром до 3-5 мм. и более.

Расходы воды в ручейковых потоках находятся в очень широких пределах от 0,3 до 131 л/с. Широта диапазона наблюдаемых значений расхода воды в склоновом стоке отражает большие различия в условиях водоподачи из снежного покрова и в условиях движения потока талых вод по подстилающей поверхности. В частности, существенные различия в интенсивности водоподачи обусловлены накоплением влаги в упомянутых выше сугробах. Таким образом, для центральных частей распаханных участков характерны расходы от 1,2-1,5 л/с до 3-4 л/с, что влечет формирование борозд глубиной до 10 см/. В то же время у опушек леса и лесополос значения поднимаются до 13-17 л/с достигая в отдельных местах 131 л/с. Такие потоки, формируют уже не эфемерную сеть мелких борозд, а промоины шириной от 0,3 до 0,85 м. и глубиной от 0,4 м. и более, достигая в отдельных местах 1,5 м. (рис. 5b).

Русла промоин, в свою очередь, способствуют дальнейшей концентрации стока и увеличению его эрозионной и транспортирующей работы. Мутность воды в микроручейках в зависимости от крутизны склона и скорости воды по данным наблюдений изменялась в широком диапазоне – от долей грамма на литр до 64,9 г/л. Приведенное сопоставление представляет собой дополнительный путь оценки смыва и иллюстрацию достоверности получаемых результатов.

Самым надежным, на настоящий момент, исследованием интенсивности смыва почв является обмер эрозионных форм рельефа. Объем смыва почв тальными снеговыми водами



**Рис. 5.** Порожистые промоины (а) (май 2023, фото З.Н. Квасниковой) (b) (апрель 2021, фото З.Н. Квасниковой)

**Figure 5** Raptids ravine (a) (May 2023, photo by Z.N. Kvasnikova) (b) (April 2021, photo by Z.N. Kvasnikova)

контролируется экспозицией склона, его крутизной и формой, запасами воды в снежном покрове, интенсивностью снеготаяния, глубиной оттаивания почв, состоянием агрофона. Снеготаяние на склонах южной экспозиции происходит раньше, чем на северных и длится 10-15 дней, но в отдельные годы может быть и меньше 5-7 дней (2012 г.), а на северных склонах достигает 56 дней (2002 г.) составляя в среднем 30-32 дня. По данным наблюдений смыв почв наиболее интенсивно протекает в годы с коротким периодом снеготаяния по зяби и оказывается значительным даже в годы с относительно небольшими запасами влаги в снежном покрове, например, в 2012 г (табл. 3). Обмер водороин, производимый после каждого снеготаяния, позволил получить статистические характеристики процесса талой эрозии, которые отражают совокупное влияние экспозиции склонов, микрорельефа пашни и агрофона.

Таблица 3 – Определение интенсивности смыва почв методом обмера водороин за период с 1988 по 2019, с 2021 по 2023 годы

Table 3 – Determination of the intensity of soil loss using the method of measuring waterfalls for the period from 1988 to 2019, from 2021 to 2023

Ключевые участки – урочища	$q_{\text{ср}}, \text{ м}^3/\text{га}$	$\delta_{\text{ср}}, \%$	$C_v$	$\delta_{\text{св}}, \%$	$C_s/C_v$	$r_{(1)}$
Поле (пашня) склон южной экспозиции	16,8	17,1	1,0	17,1	2,0	0,47
Поле (пашня) между кедровым лесом и лесополосой склон южной экспозиции	7,8	11,8	0,70	14,6	1,0	0,26
Поле (пашня) склон северной экспозиции	3,7	15,2	0,90	16,1	2,0	-0,12

*Примечание:* обозначения в этой таблице те же, что и в таблице 3, но все величины относятся к интенсивности смыва.

Статистический анализ включает оценку параметров кривых распределения вероятностей ежегодного превышения тех или иных значений модуля смыва принятой обеспеченности. Модули смыва почв заданной обеспеченности определены по аналитическим кривым

трех параметрического гамма – распределения С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля [9]. В таблице 3 приведены оценки параметров кривых распределений вероятностей ежегодного превышения максимальных модулей смыва почвы талыми снеговыми водами, рассчитанные по материалам наблюдений за 35-летний период на ключевом участке Лучаново. То есть, из всей совокупности значений модуля смыва, получаемых в результате ежегодного обмера микрорусел в статистическую обработку включены наибольшие за каждый год значения.

Цель – зафиксировать наиболее опасный вариант развития эрозионного процесса. Влияние экспозиции обнаруживается уже на этапе оценки кривых распределения. Средние значения модуля смыва кратны меньше значений на склоне южной экспозиции, несмотря на то, что как мощность снежного покрова, так и водозапас на северном склоне выше, чем на южном. Объяснить этот эффект можно упомянутой выше существенной разницей в интенсивности снеготаяния, а, следовательно, и водоподачи на поверхность склонов северной и южной экспозиции. Обращает на себя внимание большая разница в значениях двух участков, имеющих одну и ту же – южную экспозицию. Различия видны не только в средних значениях, но и в коэффициенте вариации временного ряда. Эти различия носят уже не только вероятностный, но и детерминированный характер, который мы попытаемся раскрыть ниже.

В таблице 4 приведены значения максимальных модулей смыва почв талыми снеговыми водами заданной ежегодной вероятности превышения ( $q_{\text{maxP} \%}$ ). Модули смыва почв для разных ключевых участков превышающие значения один раз в  $n = 100$  лет, составляют 15,4-77,3 м<sup>3</sup>/га. Полученные значения максимального модуля смыва подчёркивают указанные выше различия, обусловленные различными сочетаниями влияния экспозиции склонов, агрофоном и микро-рельефом поверхности склонов. Эти факторы и их сочетания следует рассмотреть подробнее.

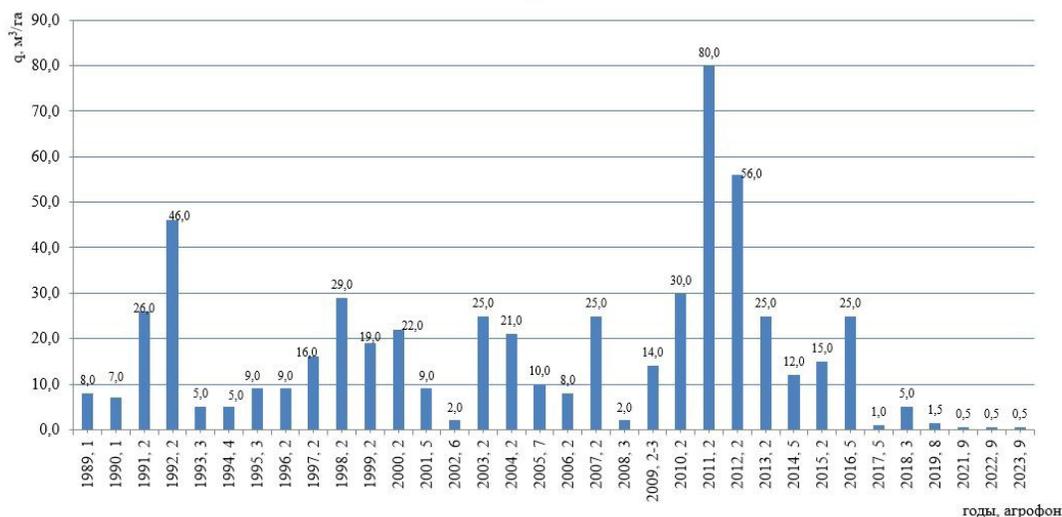
С целью отражения влияния упомянутых факторов требуется рассмотреть временной ряд значений модуля смыва и пространственные сочетания агрофона и микро-рельефа за отдельные годы. Так, временной ряд значений максимального смыва ярко иллюстрирует влияние агрофона, которое не нивелируется никакими другими факторами (рис. 6).

Таблица 4 – Обеспеченные значения модулей максимального смыва почвы, определённые по материалам наблюдений за период с 1988 по 2019, с 2021 по 2023 годы

Table 4 – Provided values of the modules of maximum soil loss, determined from observation materials for the period from 1988 to 2019, from 2021 to 2023

Ключевые участки – урочища	Модули максимального смыва почв принятой обеспеченности ( $q_p\%$ ), м <sup>3</sup> /га						
	0,1 %	1 %	5 %	25 %	50 %	75 %	95 %
Поле (пашня) склон южной экспозиции	116	77,3	50,4	23,4	11,6	4,9	0,86
Поле (пашня) между кедровым лесом и лесополосой склон южной экспозиции	27,0	22,3	17,8	11,3	6,9	3,3	0,6
Поле (пашня) склон северной экспозиции	31,0	15,4	10,3	5,1	2,8	1,3	0,3

Наиболее интенсивен смыв при агрофоне, представленном зябью, минимален – когда поле находится под стерней, скошенным, но не убраным льном, грубой зябью (вспашка поперек склона глубиной 25-30 см), после уборки картофеля (эффект мелких понижений). Рассмотрим данное положение на примере двух участков пашни Лучановского ключевого участка по ряду лет (табл. 5).



**Рис. 6.** Максимальные значения интенсивности смыва почв талыми водами на распаханном склоне южной экспозиции участка «Лучаново»

(1 – вспашка поперек склона, 2 – зябрь, 3 – стерня, 4 – скошенный лен, 5 – сложный агрофон, 6 – клевер, 7 – вспашка вдоль склона, 8 – контурное боронование, 9 – грубая зябрь)

**Figure 6** Maximum values of intensity of soil erosion by melt water on the plowed slope of the southern exposure of the Luchanovo site

(1 – plowing across the slope, 2 – fallow land, 3 – stubble, 4 – mown flax, 5 – complex agricultural background, 6 – clover, 7 – plowing along the slope, 8 – contour harrowing, 9 – rough fallow land)

Таблица 5 – Примеры влияния агрофона и экспозиции на интенсивность смыва почв со склонов пашни на примере ряда лет

Table 5 – Examples of the influence of the agricultural background and exposure on the intensity of soil loss from the slopes of arable land using the example of a number of years

Год	Южные склоны, состояние агрофона	Смыв, м³/га	Северный склон, состояние агрофона	Смыв, м³/га
1989	Зябрь боронованная	5-10	Зябрь боронованная	16-17
1992	Зябрь боронованная	24-30	Густые всходы клевера, рядки поперек склона	1-3
2003	Зябрь боронованная	8-16	Скошенный и неубранный лен	1-3
	Скошенный и неубранный лен	1-2		
2008	Стерня, грубая зябрь	1-2	Грубая зябрь	1-3
2010	По стерне	0,5-1	Зябрь	9-10
	По зяби	13-15		
2012	На задернованном склоне	0,5-1	Зябрь боронованная поперек склона	3-5
	По стерне	2-5		
	По зяби	10-20		
2015	Зябрь контурно боронованная	8-9	Чередование стерни и зяби	5-6
	Сочетание зяби и стерни	6-7		
2022	Зябрь, стерня, всходы озимых	0,5-3	Всходы озимых	До 10
2023	Стерня злаковых	0,5-1		
2023	Грубая зябрь поперек склона	2-3	Грубая зябрь поперек склона по стерне	3-4
2023	Зябрь боронованная у лесополос	35-40	Зябрь боронованная	30-32

Данные 1992 и 2003 годов ярко отражают совокупное влияние агрофона и экспозиции. Несмотря на величину водозапаса в снежном покрове на южном склоне (110 мм), меньшую чем на северном склоне (около 150 мм), величина смыва более чем в 10 раз больше, чем на северном. Это невозможно отнести только на разницу в интенсивности снеготаяния, обусловленную экспозицией. Кроме того, сравнение смыва на склонах северной и южной экспозиции по ряду лет позволяет определить, что влияние экспозиции может быть существенным образом нивелировано. В то же время, сравнивая случаи одинакового агрофона (2012 год и последняя строчка таблицы) можно это влияние выделить. На фоне одинакового водозапаса в 2012 году в снежном покрове, смыв почвы при бороновании поперек склона оказывается сниженным и близким к смыву по стерне. Этот вывод интересен с практической точки зрения. Таким образом, анализ таблицы 5 показывает, что величина смыва почв во многом зависит от состояния агрофона. Наиболее интенсивно процесс развивается по боронованной вдоль склона зяби.

Но сочетание агрофона и экспозиции не является единственно возможным при анализе всей картины развития водной эрозии при снеготаянии, поскольку большое влияние на процесс смыва оказывает микрорельеф пашни. Натурные наблюдения показывают, что в один и тот же год интенсивность смыва почв даже на одном и том же поле, но с разным микрорельефом и агрофоном существенно различается. Рассмотрим это на примере одного из склонов южной экспозиции, где в центральной ее части расположена ложбина с водосбором площадью 5 га, а в районе лесополосы на окраине пашни имеется промоина с площадью водосбора около 3 га, где потоки от таяния поздневесенних сугробов у лесополосы в течение 3–5 дней производят значительную эрозионную работу (см. рис. 5). В таблице 6 приведены примеры по ряду лет, иллюстрирующие вышесказанное.

Данные полустационарных наблюдений за различные периоды указывают на то, что за 1989-2004 годы смыв с этого склона южной экспозиции в среднем составил 6-7 м<sup>3</sup>/га. При этом в бассейне ложбины за период с 1989 по 2012 смыв составил 5-6 м<sup>3</sup>/га, а в бассейне промоины – 10-11 м<sup>3</sup>/га. В последние годы агрофон этого поля чаще всего представлен стерней или травами, поэтому смыв почв невелик – от 0,5 до 2 м<sup>3</sup>/га. Сравнивая смыв в бассейне ложбины и промоины в годы с одинаковым агрофоном можно заметить существенную разницу в пользу промоины, что связано, по-видимому, с большей концентрацией потока в промоине и, следовательно, большим выносом твердого материала по руслу промоины.

Таблица 6 – Примеры интенсивности смыва почв в микробассейнах ложбины и промоины на южном склоне пашни

Table 6 – Examples of the intensity of soil loss in microbasins of hollows and gullies on the southern slope of arable land

Год	Состояние агрофона в бассейне ложбины	Смыв, м <sup>3</sup> /га	Состояние агрофона в бассейне промоины у лесополосы	Смыв, м <sup>3</sup> /га
1989	Зябрь, вспашка поперек склона	4-5	Зябрь, вспашка поперек склона	7-8
1991	Зябрь	10-11	Зябрь	24-26
1998	Стерня	2-3	Стерня	28-29
2000	Зябрь	20-22	Стерня, зябрь	8-9
2004	Всходы клевера	3-4	Редкие всходы трав	20-21
2007	Зябрь	9-10	Зябрь	24-25
2009	Стерня, зябрь, контурное боронование	2-3	Зябрь, боронование вдоль склона	13-14
2010	Всходы клевера	4-5	Зябрь с куртинами сорных трав	29-30
2012	Густой травяной покров с фрагментами зяби в низовьях	3-5	Зябрь с куртинами сорных трав	56-59
2015	Зябрь, стерня	1-3	Зябрь, стерня	14-15
2021	Всходы фацелии	0,5-1	Всходы фацелии	1,5-2

Смыв почв с пашни на склоне северной экспозиции, как правило, варьировал в течение 1988-2019, 2021-2023 гг. от 0,5 до 5 м<sup>3</sup>/га, но в годы длительного снеготаяния при резком повышении температуры воздуха он был более значительным. Например, в 1989 г. по боронованной зяби вдоль склона с поля площадью 18 га было смыто 16-17 м<sup>3</sup>/га почвы. В 2010 г. агрофон поля был представлен боронованной зябью, в результате на поле образовалось два водосборных микро-бассейна, а с поля было смыто от 10 до 15 м<sup>3</sup>/га почвы. У подножия склона образовались конусы выноса с общей площадью 1552 м<sup>2</sup>, а средняя мощность делювия в них составляла около 7 см.

Насколько опасными являются процессы талой эрозии почв в пределах исследуемой территории? Однозначного ответа нет, поскольку до настоящего времени нет единой оценки опасности развития водной эрозии почв, а параметры ее проявления оцениваются исследователям по-разному.

На наш взгляд, более объективно оценивается опасность развития талой эрозии почв в Своде правил «Геофизика опасных природных воздействий...» [21], в котором показано, что весьма опасен этот процесс при смыве почв в 5-10 м<sup>3</sup>/га и умеренно опасен при 2-5 м<sup>3</sup>/га в год. Согласно полученным нами данным о среднегодовом смыве почв во время снеготаяния, изменяющемся от 4 до 17 м<sup>3</sup>/га, оценка интенсивности талой эрозии на исследуемой территории варьирует от слабой до сильной.

За 36 лет наблюдений значения среднего смыва почвы за период снеготаяния с полей по зяби из диапазона от 10 до 18 м<sup>3</sup>/га отмечались 18 раз, то есть в 51,4 % случаев. Но, как указывалось выше, смыв почв талыми водами по зяби на склонах круче 5° и у лесополос (вследствие бурного таяния сугробов) достигает 20-80 м<sup>3</sup>/га. Особенно интенсивно смыв почв у лесополос развивается на распаханных склонах южной экспозиции, например, в 2010 г. он достигал 50 м<sup>3</sup>/га, в 2012 – от 56 до 60 м<sup>3</sup>/га, в 2023 г. – до 40 м<sup>3</sup>/га, а максимальный наблюдался в 2011 г. – до 80-81 м<sup>3</sup>/га. В остальные годы смыв почв в зависимости от состояния агрофона в среднем изменялся от слабого до опасного (5-10 м<sup>3</sup>/га). Распределение смыва почв разной степени опасности по ключевым участкам бассейна р. Басандайки представлено в таблице 8.

Таблица 8 – Развитие процесса водной эрозии при снеготаянии различной опасности по данным много-летних наблюдений, %

Table 8 – Development of the process of water erosion during snowmelt of various hazards according to long-term observations, %

Ключевой участок, экспозиция склона, период наблюдений	Весьма опасный 10-15 м <sup>3</sup> /га	Опасный 5-10 м <sup>3</sup> /га	Умеренно опасный 2-5 м <sup>3</sup> /га	Слабо опасный менее 2 м <sup>3</sup> /га
Лесопитомник, южная, 11 лет	-	27,3	18,1	54,6
10-ый км, южная, 12 лет	41,7	33,3	25,0	-
Лучаново, южная (поле с оврагом), 33 года	24,2	27,3	18,2	30,3
Лучаново, южная (поле «кедрач-лесополоса»), 33 лет	33,3	20,0	16,7	30,0
Лучаново, северный склон (поле), 35 лет	2,9	26,5	29,4	41,1

### Заключение

1. Проведенные исследования показывают, что развитие эрозии почв, вызываемой талыми снеговыми водами, характеризуются в пространстве и во времени неоднородностью проявления даже в пределах одного поля и зависят не только от запасов воды в снеге и интенсивности снеготаяния, но и в значительной степени от состояния агрофона, микрорельефа пашни и экс-

позиции склона. Наиболее активно смыв почв происходит на склонах пашни южной экспозиции в годы с интенсивным снеготаянием по боронованной зяби на склонах крутизной 5-7° и более в районе лесополос, достигая 40-80 м<sup>3</sup>/га. Средний смыв со склонов пашни по зяби варьирует от 5 до 18 м<sup>3</sup>/га, по стерне, травам, не убранному льну – 0,5-3 м<sup>3</sup>/га. При агрофоне, представленном с осени чередованием полос зяби, стерни, грубой зябью и т.д., смыв почв значительно уменьшается, что способствует сохранению плодородия почв.

2. При изучении водной эрозии почв, на наш взгляд, необходимо сочетать полевые методы и физико-статистические модели расчета смыва.

3. Наиболее надежным способом, несомненно, оказывается многолетнее полевое наблюдение за процессами почвенной эрозии. Такие исследования не могут быть организованы на всей площади бассейна даже малой реки, поэтому остаются актуальными эпизодические наблюдения за эрозией за пределами полустационара на участках с различными свойствами подстилающей поверхности. Величины, полученные на этих участках, могут быть сопоставлены с величинами смыва заданной вероятности превышения, установленными на участках полустационара. В частности, результаты, представленные в данной работе, позволяют отметить ряд проявлений влияния агрофона на величину смыва почвы. Причем это влияние наблюдается в сочетании с влиянием на смыв почвы микрорельефа и экспозиции. Например, величины смыва по боронованной зяби в отдельные годы составляют 16-17 м<sup>3</sup>/га на северном склоне повышаясь до 24-60 м<sup>3</sup>/га на южном. Это величина смыва с вероятностью превышения, соответственно, 5 % и 1 %. То есть повторяемость такой интенсивности смыва 5 раз в 100 лет и 1 раз в 100 лет соответственно. Напротив, грубая зябь или стерня снижают величину смыва до 1-3 м<sup>3</sup>/га, вероятность превышения (обеспеченность) которой составляет 95 %. Замечено также, что при одинаковом агрофоне бассейн промоины отличается существенным (кратно) увеличением смыва по сравнению с бассейном ложбины, что связано, скорее всего, не столько с различием в крутизне склонов, сколько влиянием таяния сугробов у лесополос и опушки леса.

### Литература

1. Правительство Российской Федерации. Распоряжение № 3684 от 31 декабря 2020 года. Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы) – Москва, 2020. – 144 с. – Текст : непосредственный.
2. Почвенный покров и земельные ресурсы РФ. – Москва : Почвенный институт имени В.В. Докучаева, РАСХН, 2001. – 400 с. – Текст : непосредственный.
3. Шульц, П. Эрозия – актуальная проблема деградации почв / П. Шульц, М. Ягла. – Текст: электронный // ГлавАгроном: [сайт] – 2020. URL: <https://glavagronom.ru/articles/eroziya--aktualnaya-problema-degradacii-pochv> (дата обращения: 12.04.2023).
4. Кузнецов, М. С. Эрозия и охрана почв : учебник для вузов / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 387 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-11173-6. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/541248> (дата обращения: 13.05.2024).
5. Доклад «Об экологической ситуации в Томской области в 2021 году / редколлегия: М. А. Кривов, Ю. В. Лунева; составители: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». – Томск ОГБУ «Облкомприрода», 2022. – 124 с. – Текст : непосредственный.
6. Агроэкологические основы землепользования в Томской области / В. А. Хмелев, В. К. Каличкин, В. Г. Азаренко, Н. Н. Шипилин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 255 с. – Текст : непосредственный.
7. Литвин, Л. Ф. География динамики земледельческой эрозии почв Сибири и Дальнего Востока / Л. Ф. Литвин, З. П. Кирюхина, С. Ф. Краснов, Н. Г. Добровольская, А. В. Горобец. – Текст непосредственный // Почвоведение. – 2021. – № 1. – С. 136–148.

8. Методы изучения и расчета водного баланса / В. С. Вуглинский, Г. С. Клейн, И. Н. Образцов [и др.]. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1981. – 397 с. – Текст : непосредственный.
9. Свод правил СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – Москва : Минстрой России, 2023. – 103 с. – Текст : непосредственный.
10. Евсеева, Н. С. Делювиальный процесс в агроландшафтах юга Томской области и его эколого-геоморфологические аспекты / Н. С. Евсеева, Г. Е. Пашнева, З. Н. Квасникова. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2013. – № 4 (24). – С. 7–19.
11. Евсеева, Н. С. Смыв почвы тальми снеговыми водами на склонах (по материалам стационарных наблюдений в Томской области) / Н. С. Евсеева, З. Н. Квасникова, М. А. Каширо, А. С. Батманова, В. В. Алеев. – Текст : непосредственный // Геоморфология. – 2016. – № 1. – С. 45–54.
12. Евсеева, Н. С. Влияние рельефа и растительности на распределение снежного покрова в бассейнах малых рек / Н. С. Евсеева, А. И. Петров, М. А. Каширо, З. Н. Квасникова, А. С. Батманова, А. В. Хон. – Текст : непосредственный // Геосферные исследования. – 2017. – № 4. – С. 64–74.
13. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии окружающей среды Томской области в 2011 году / авторы: главный редактор А. М. Адам, редколлегия: В. А. Коняшкин, А. В. Дмитриев, Ю. В. Лунева; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». – Томск: Издательство «Графика ДТР», 2012. – 166 с. – Текст : непосредственный.
14. Барашкова, Н. К. Экстремальный режим погоды летом 2012 г. на территории Томской области как отражение современных глобальных климатических тенденций / Н. К. Барашкова, И. В. Кужевская, Д. В. Поляков. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 372. – С. 173–179.
15. Евсеева, Н. С. Из истории изучения мерзлоты юго-востока Западной Сибири, ее типы и влияние на рельефообразование / Н. С. Евсеева, З. Н. Квасникова, М. А. Каширо. – Текст : непосредственный // Геосферные исследования. – 2018. – № 3. – С. 71–87.
16. Дюкарев, А. Г. Температурный режим глубокоподзоленных почв Томь-Яйского междуречья / А. Г. Дюкарев, Н. Н. Пологова, Е. А. Дюкарев // Современные проблемы генезиса, географии и картографии почв (сборник материалов V Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Б. Ф. Петрова), Томск, Издательство ТГУ. – 2011. – С. 35–38. – Текст : непосредственный.
17. Кисилев, М. В. Особенности температурного режима почв верхового болотного массива / М. В. Кисилев, Н. Н. Воропай, Е. А. Дюкарев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Физика. – 2016. – Т. 59. – № 7/2. – С. 93–98.
18. Опасные природные и техногенные процессы на территории г. Томска и их влияние на устойчивость природно-технических систем / В. Е. Ольховатенко, М. Г. Рутман, В. М. Лазарев – Томск: Печатная мануфактура, 2005. – 152 с. – Текст : непосредственный.
19. Бураков, Д. А. Эрозия почв: учебное пособие / Д. А. Бураков, Е. Э. Маркова. – Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2009. – 160 с. – Текст : непосредственный.
20. Догановский, А. М. Сборник задач по определению основных характеристик водных объектов суши: учебное пособие / А. М. Догановский, В. Г. Орлов. – Санкт-Петербург : РГТМУ, 2011. – 315 с. – Текст : непосредственный.
21. Свод правил СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-95. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 36 с. – Текст: непосредственный.

## References

1. Russian Federation Government. Resolution No. 3684, 31 December 2020. Fundamental Scientific Research Program in the Russian Federation for the Long-term Period (2021–2030). Moscow: 2020:144). (In Russia)
2. Soil Cover and Land Resources of the Russian Federation. Moscow: Soil Institute named after V.V. Dokuchaev, Russian Academy of Agricultural Sciences, 2001:400. (In Russia)

3. Schultz P, Yagla M. Erosion – an Urgent Problem of Soil Degradation. Text: electronic. GlavAgronom: [website]; 2020. Available from: <https://glavagronom.ru/articles/eroziya--aktualnaya-problema-degradacii-pochv>. [cited 2023 Apr 12]. (In Russia)
4. Kuznetsov MS, Glazunov GP. Soil Erosion and Protection: Textbook for Higher Educational Institutions. 3rd ed., rev. and added. Moscow: Yurait Publishing; 2024:387. Available from: <https://urait.ru/bcode/541248>. [cited 2024 May 13]. (In Russia)
5. Report on the Environmental Situation in Tomsk Region in 2021. Editorial board: Krivov MA, Luneva YV; Compiled by: Department of Natural Resources and Environmental Protection of Tomsk Region, OGBU «Oblkompriroda». Tomsk: OGBU «Oblkompriroda»; 2022:124 (In Russia)
6. Agroecological Foundations of Land Use in Tomsk Region. Khmelev VA, Kalichkin VK, Azarenko VG, Shipilin NN. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2001:255 (In Russia)
7. Litvin LF, Kirukhina ZP, Krasnov SF, Dobrovolskaya NG, Gorobets AV. Geography of Agricultural Soil Erosion in Siberia and the Russian Far East. Soil Science. 2021;1:136–48. (In Russia)
8. Vuglinsky VS, Klein GS, Obraztsov IN, Plitkin GA, Sokolov AA, Fedorov NN. Methods for Studying and Calculating Water Balance. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1981:397. (In Russia)
9. SNiP 529.1325800.2023. Determination of Basic Hydrological Characteristics. Moscow: Ministry of Construction of the Russian Federation; 2023:103. (In Russia)
10. Evseeva NS, Pashneva GE, Kvasnikova ZN. Deluvial Process in Agro-landscapes of Southern Tomsk Region and its Ecological-Geomorphological Aspects. Bulletin of Tomsk State University. Biology. 2013;4(24):7–19. (In Russia)
11. Evseeva NS, Kvasnikova ZN, Kashiro MA, Batmanova AS, Aleev VV. Soil Washoff by Melting Snowmelt Water on Slopes (based on Stationary Observations in Tomsk Region). Geomorphology. 2016;1:45–54. (In Russia)
12. Evseeva NS, Petrov AI, Kashiro MA, Kvasnikova ZN, Batmanova AS, Khon AV. Influence of Relief and Vegetation on Snow Cover Distribution in Small River Basins. Geospheric Research. 2017;4:64–74. (In Russia)
13. Environmental Monitoring: Report on the State of the Environment in Tomsk Region in 2011. Editor-in-chief: Adam AM, Editorial Board: Konyashkin VA, Dmitriev AV, Luneva YV; Department of Natural Resources and Environmental Protection of Tomsk Region, OGBU «Oblkompriroda». Tomsk: Grafika DTP Publishing; 2012:166 (In Russia)
14. Barashkova NK, Kuzhevskaya IV, Polyakov DV. Extreme Weather Patterns in Summer 2012 in Tomsk Region as a Reflection of Current Global Climate Trends. Bulletin of Tomsk State University. 2013;372:173–9. (In Russia)
15. Evseeva NS, Kvasnikova ZN, Kashiro MA. History of Permafrost Studies in Southeastern Western Siberia, its Types, and Influence on Relief Formation. Geospheric Research. 2018;3:71–87. (In Russia)
16. Dyukarev AG, Pologova NN, Dyukarev EA. Thermal Regime of Deeply Podzolized Soils of the Tom'-Yay Interfluve. In: Proceedings of the V All-Russian Conference with International Participation Dedicated to the 100th Anniversary of the Birth of B.F. Petrov. Tomsk: TGU Publishing; 2011:35–8. (In Russia)
17. Kisilev MV, Voropay NN, Dyukarev EA. Thermal Regime of Soils in the Raised Bog Area. Journal of Physics of Higher Education Institutions. 2016;59(7/2):93–8. (In Russia)
18. Olkhovatenko VE, Rutman MG, Lazarev VM. Dangerous Natural and Technogenic Processes in Tomsk City and Their Impact on the Stability of Natural-Technological Systems. Tomsk: Print Manufacture; 2005:152 (In Russia)
19. Burakov DA, Markova EE. Soil Erosion: A Textbook. Krasnoyarsk State Agrarian University. Krasnoyarsk; 2009:160. (In Russia)
20. Doganovsky AM, Orlov VG. Collection of Problems on Determining the Basic Characteristics of Water Bodies on Land: A Textbook. St. Petersburg: RGGMU; 2011:315 (In Russia)
21. SNiP 115.13330.2016. Geophysics of Dangerous Natural Impacts. Updated Edition of SNiP 22-01-95. Moscow: Standartinform; 2018:36. (In Russia)

**Сведения об авторах**

*ЕВСЕЕВА Нина Степановна* – д.г.н., проф. каф. географии, Национальный исследовательский Томский государственный университет. E-mail: nsevseeva@yandex.ru

*EVSEEVA Nina S.* – Doctor of Sciences (Geography), Professor, Department of Geography, National Research Tomsk State University

*ПЕТРОВ Анатолий Иванович* – ст. преп. каф. гидрологии, Национальный исследовательский Томского государственного университета

*PETROV Anatoly I.* – Senior Lecturer, Department of Hydrology Faculty, National Research Tomsk State University

*ХОН Алексей Валерьевич* – к.г.н., м.н.с., Институт мониторинга климатических и экологических систем СОРАН. E-mail: avkhon@yandex.ru

*KHON Aleksey V.* – Candidate of Science (Geography), Junior Researcher, Institute for Monitoring of Climate and Ecological Systems SB RAS

*КАШИРО Маргарита Александровна* – к.г.н., доцент каф. географии, Национальный исследовательский Томский государственный университет. E-mail: mkashiro@yandex.ru

*KASHIRO Margarita A.* – Candidate of Science (Geography), Associate Professor, Department of Geography, National Research Tomsk State University

*КВАСНИКОВА Зоя Николаевна* – к.г.н., доцент каф. географии, Национальный исследовательский Томский государственный университет. E-mail: zojkwas@rambler.ru

*KVASNIKOVA Zoia N.* – Candidate of Science (Geography), Associate Professor of the Department of Geography, National Research Tomsk State University

С.А. Тесленок✉, А.С. Фролов

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

✉ teslenok-sa@mail.ru

## ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ КАРТЫ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДА ХАНТЫ-МАНСИЙСКА В СРЕДЕ ГИС NEXTGIS

**Аннотация.** Актуальность – озелененные территории (особенно в условиях городской среды) выполняют множество экосистемных и социальных функций по поддержанию и улучшению состояния и качества окружающей среды населенных пунктов, также комфортности проживающего в них населения. Зеленые насаждения городских территорий нуждаются в мониторинге и инвентаризации путем использования специального программного обеспечения (ПО), материалов дистанционного зондирования и глобального позиционирования, геоинформационных систем и технологий. Цель – создание карты зеленых насаждений г. Ханты-Мансийска (на примере модельной территории Югорского государственного университета (ЮГУ)). Задачи – разработать и практически реализовать базы данных ГИС «Зеленое ожерелье ЮГУ», спроектировать и создать предварительную карту зеленых насаждений на территории ЮГУ. Методы – обзор и анализ литературных и интернет-источников изучаемой тематики, геоинформационное картографирование. Результат. Разработаны и созданы базы данных ГИС «Зеленое ожерелье ЮГУ», спроектирована и создана предварительная карта зеленых насаждений территории университета. Выводы. Полученные результаты в дальнейшем могут быть полезны для администрации г. Ханты-Мансийска, служб городского хозяйства, планирующих, организующих и ведущих деятельность по инвентаризации зеленых насаждений в населенных пунктах и расширению их площади, помочь совершенствованию использованного ПО.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, базы данных, геоинформационные системы, геоинформационное картографирование, карты, зеленые насаждения, г. Ханты-Мансийск, Югорский государственный университет.

**Для цитирования:** Тесленок С.А., Фролов А.С. Особенности создания карты зеленых насаждений города Ханты-Мансийска в среде ГИС NextGIS. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 120–137. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-120-137

S.A. Teslenok✉, A.S. Frolov

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

✉ teslenok-sa@mail.ru,

## PECULIARITIES OF CREATING A MAP OF GREEN AREAS IN THE CITY OF KHANTY-MANSIYSK USING THE NEXTGIS GIS ENVIRONMENT

**Abstract.** Relevance: green areas (especially in an urban environment) perform many ecosystem and social functions to maintain and improve the condition and quality of the environment of settlements, as well as the comfort of the population living in them. Green spaces in urban areas require monitoring and inventory using special software, remote sensing and global positioning materials, geographic information systems and technologies. The purpose was to create a map of green spaces in the city of Khanty-Mansiysk (using the pilot area of the Yugra State University (YuSU)). The tasks were to develop and implement the GIS database “Green Necklace of the YuSU”; design and create a preliminary map of green spaces on the territory of the YuSU. Methods: a review and analysis of literary and Internet sources on the topic being studied, processing of satellite images, geoinformation mapping. Result. GIS databases “Green Necklace to the YuSU” was developed and created, a preliminary map of the university’s green spaces was designed and compiled. Conclusions. The results obtained may be useful in the future for the administration of Khanty-Mansiysk in municipal services

planning, organizing and conducting activities to make an inventory of green spaces in settlements and expand their area.

**Keywords:** software, databases, geoinformation systems, geoinformation mapping, maps, green spaces, Khanty-Mansiysk, Yugra State University.

**For citation:** Teslenok S.A., Frolov A.S. Peculiarities of creating a map of green areas in the city of Khanty-Mansiysk using the NextGIS GIS environment. *Vestnik of NEFU. Earth Sciences*. 2024, № . 4. Pp. 120–137. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-120-137

## Введение

Озелененные территории выполняют множество экосистемных и социальных функций по поддержанию и улучшению качества окружающей среды территорий населенных пунктов, повышению степени устойчивости их развития [17], а также степени комфортности проживающего в них населения [16], что особенно актуально для условий городской среды [5]. Зеленые насаждения городских территорий нуждаются в мониторинге и инвентаризации путем использования, специализированного ПО, средств и данных дистанционного зондирования, и глобального позиционирования, геоинформационных систем и технологий, разнообразных геоинформационно-картографических материалов [14, 15, 16, 17, 18], что особенно важно для последующего 3D-моделирования территорий населенных пунктов [12]. Цель исследования – создание карт зеленых насаждений г. Ханты-Мансийска на примере территории ЮГУ. Задачи – подобрать и проанализировать необходимое ПО, разработать и практически реализовать картографические и пространственные базы данных ГИС «Зеленое ожерелье ЮГУ», спроектировать и создать предварительную карту распространения зеленых насаждений на территории ЮГУ.

## Материалы и методы исследования

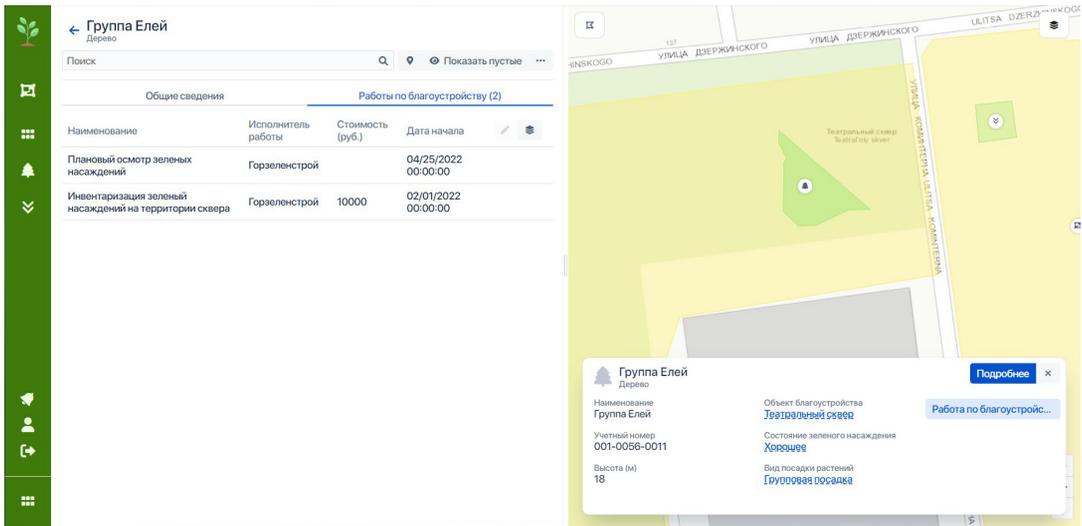
В процессе работы были использованы литературные и интернет-источники по теме исследования, программные продукты – ГИС QGIS и NextGIS. Методы – обзор ПО, геоинформационное картографирование.

## Результаты

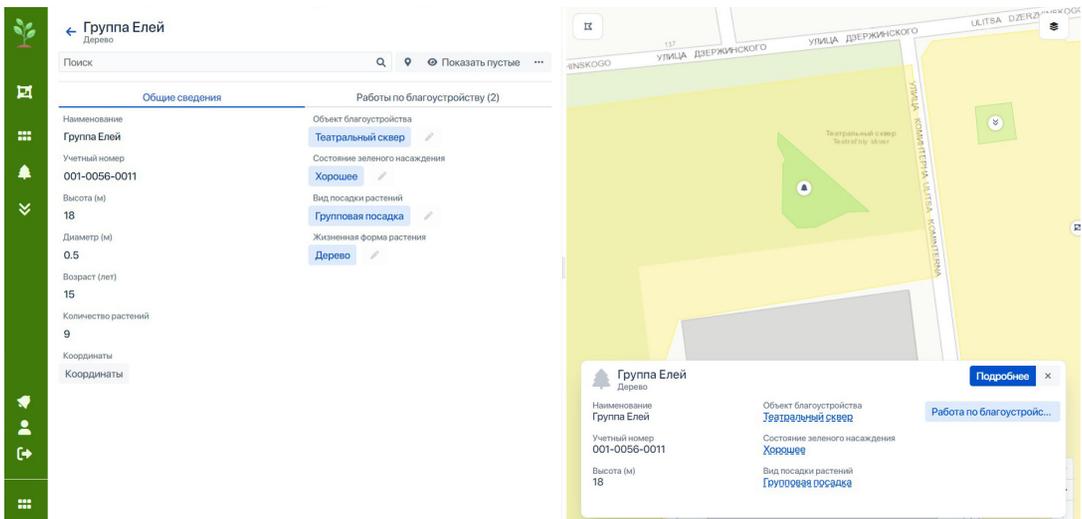
Работа началась с изучения пригодного для решения поставленных задач ПО, анализа и подбора доступной и подходящей ГИС. В процессе исследования были рассмотрены несколько вариантов систем, на базе которых создаются веб-карты, а также проанализирован опыт создания и примеры существующих карт зеленых насаждений. В списке рассматриваемого ПО были PlatoSoft (Плато), OrbisMap и NextGIS. Возможности для непосредственной работы по созданию карт в первых двух программах отсутствовали, поскольку для организации полноценного изучения всех функций ПО требовалось их коммерческое приобретение, а пробный доступ после общения с производителями так и не был предоставлен даже для учебных целей. Кроме того отсутствовали и демо-версии данных программных продуктов. Соответственно, были использованы некоторые характеристики указанного ПО, полученные из литературных и интернет-источников и дополнительно – самостоятельно полученные примеры графической визуализации реестра зеленых насаждений в виде карт.

**Platosoft** (Плато) – цифровая платформа управления пространственными данными о территории с возможностью создания тематических прикладных приложений [10]. Входит в реестр отечественного ПО [3].

На приведенном примере карты реестра зеленых насаждений (рис. 1, а) отображены их элементы для некоторых территорий г. Ставрополя. При выборе соответствующего объекта (одиночного дерева либо другого элемента насаждения) на интерактивной карте сервиса появляется информация о нем: наименование, учетный номер, высота, диаметр, возраст, состояние, вид посадки, количество. Помимо этого, дополнительно можно получить информацию о выполненных работах по благоустройству (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Система PlatoSoft (Плато), реестр зеленых насаждений г. Ставрополя: а – интерфейс; б – карточка объекта

Figure 1. PlatoSoft system (Plateau), register of green spaces in Stavropol: a – interface; b – object card

ГИС ORBISmap [8] – современная геоинформационная платформа для визуализации, хранения и управления пространственными данными в сети Интернет. Она предназначена для решения широкого круга задач геоинформационной визуализации, таких как построение геопорталов, визуализация корпоративных аналитических данных, хостинг геоданных, создание масштабных проектов из нескольких серверов и другие виды работ с пространственными данными [1].

ORBISmap входит в реестр российского ПО [2]. В качестве основной базы данных возможно использование российской СУБД Postgres Pro [11], которая также входит в реестр российского ПО [4]. ORBISmap можно установить в разных вариантах: на серверах – выделенном, виртуальном, облачном, а также в локальной корпоративной сети. Для работы ORBISmap необходим только браузер, установка дополнительных плагинов не требуется. Система может работать с ГИС ArcGIS и QGIS [9]. На рисунке 2 представлен пример визуализации реестра зеленых насаждений г. Тюмени, выполненной на базе ORBISMap.

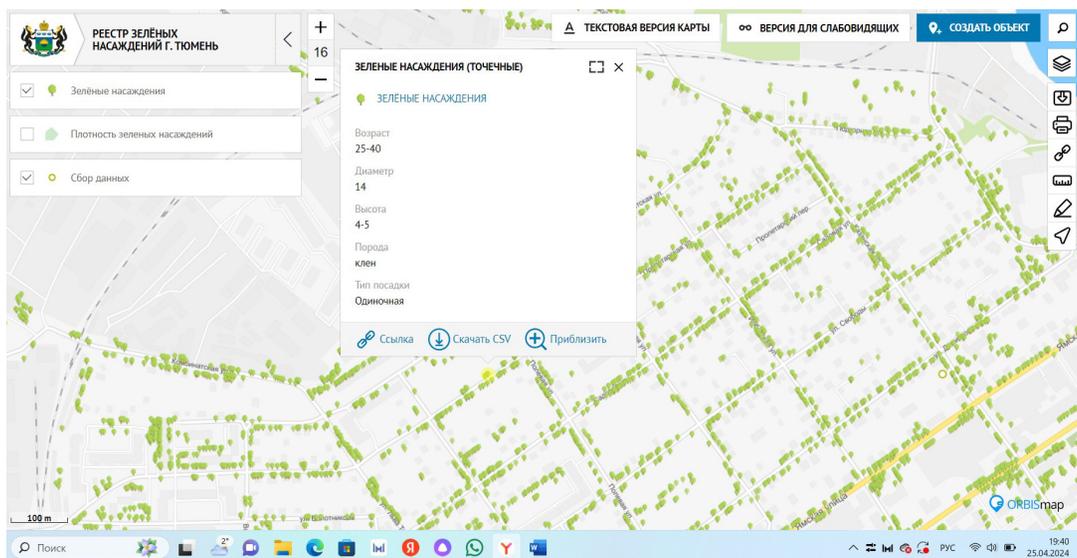


Рис. 2. ГИС ORBISMap, реестр зеленых насаждений г. Тюмени в [6]  
 Figure 2. GIS ORBISMap, Register of green spaces in the city of Tyumen [6]

На карте указаны местоположения точек распространения растительности (в данном случае указаны деревья), при нажатии на которые появляется набор атрибутивной информации о конкретном дереве: его возраст, диаметр, высота, порода и тип высадки; помимо этого данные можно выгрузить в виде таблицы CSV.

Система NextGIS является геоинформационной. Она может работать как в облачном, так и на собственном сервере. Компания-производитель занимается разработкой геоинформационного ПО с открытым исходным кодом, созданием геоданных и алгоритмов их обработки, обучением. В список продукции входят NextGISWeb, NGQGIS, NextGis и другие программные продукты [7]. Именно это ПО было выбрано в качестве целевой ГИС, так как у приведенных выше систем либо отсутствуют демо-версии (Плато [10]), либо ограничен срок использования (OrbisMap [8, 9]).

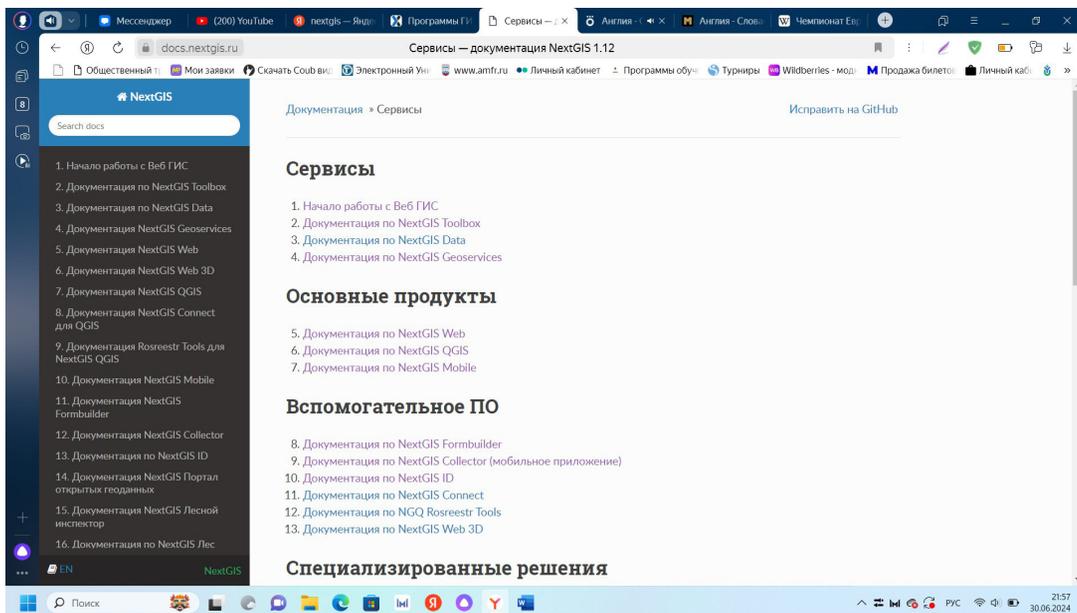
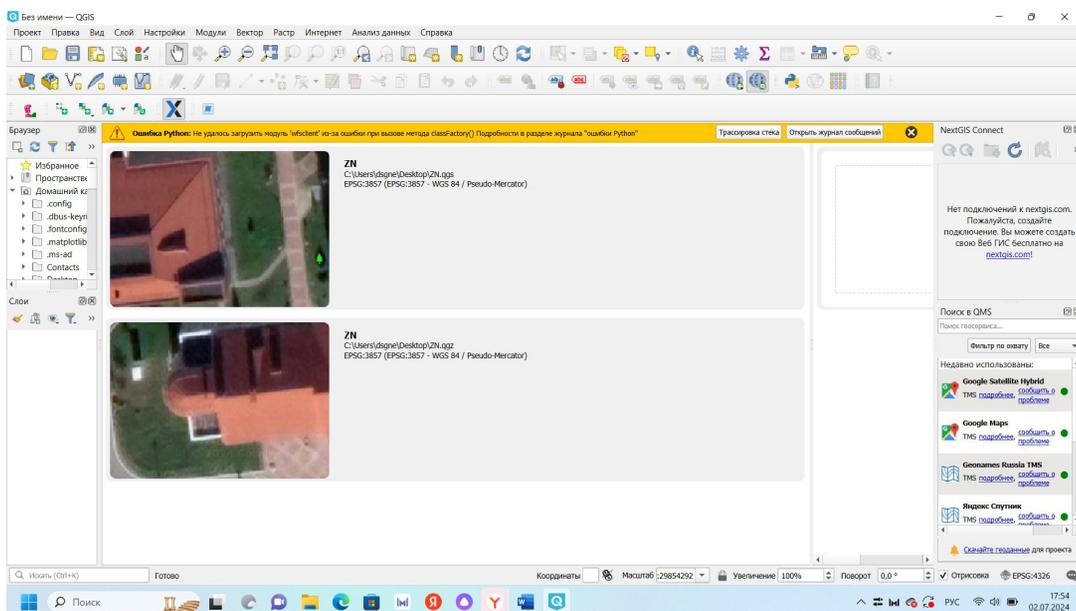


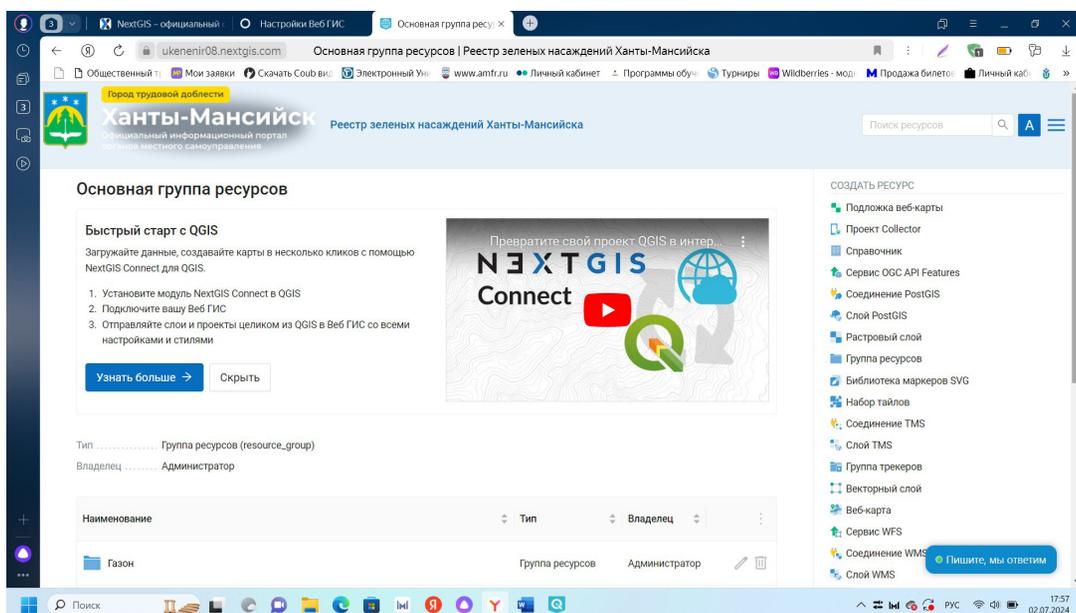
Рис. 3. NextGIS, документация [7]  
 Figure 3. NextGIS documentation [7]

Перед началом работы была изучена документация и определены возможности системы [7] (рис. 3). На следующем этапе на компьютер была установлена программа NextGIS QGIS (рис. 4, а), на мобильное устройство – NextGIS Mobile (рис. 4, б), и активирован облачный сервис NextGIS Web (рис. 4, в).

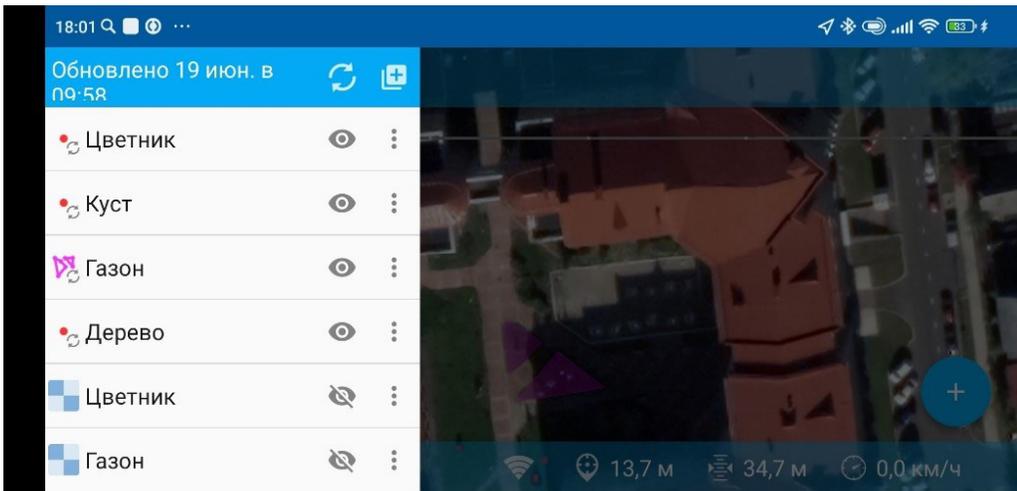
Основной этап исследования состоял в создании базовой карты в NextGIS QGIS [7], что предварительно потребовало добавления векторных слоев в формате шейп-файлов (Shapefile) и осуществления дальнейшей работы с NextGIS Web. Технологическая последовательность включала создание нового геоинформационного проекта [13] (рис. 5, а) с добавлением растровой картографической подложки (в нашем случае – Google Satellite Hybrid) (рис. 5, б) при помощи модуля QuickOSM и создание нужных слоев с использованием меню «Слой» панели управления («Слой» – «Создать слой» – «Создать слой Shapefile») (рис. 5, в).



а



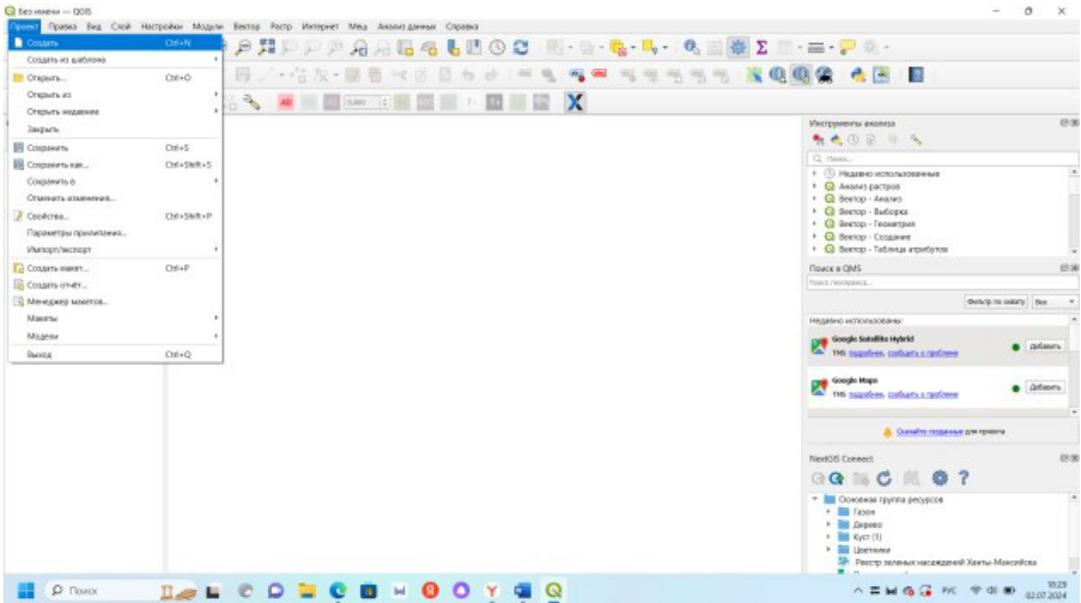
б



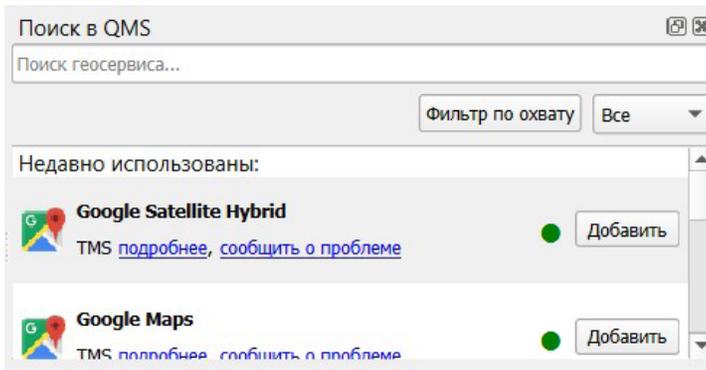
В

Рис. 4. Интерфейс: а – NextGIS QGIS; б – NextGIS Mobile; в – NextGIS Web [7]

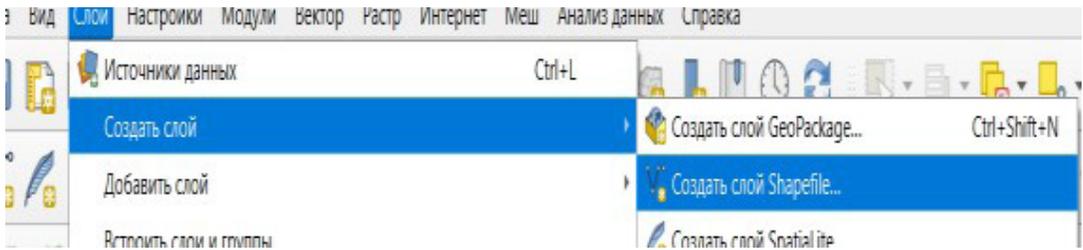
Figure 4. Interface: a – NextGIS QGIS; b – NextGIS Mobile; c – NextGIS Web [7]



а



б

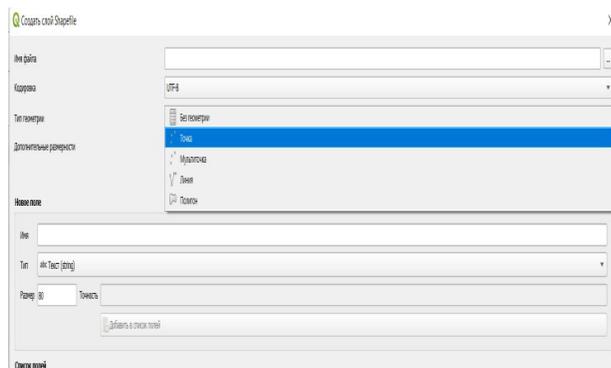


**в**

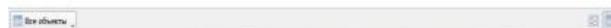
**Рис. 5.** Создание нового геоинформационного проекта: а – начало работы; б – добавление растровой картографической подложки с использованием модуля QuickOSM; в – формирование новых слоев Shapefile

**Figure 5.** Creation of a new geoinformation project: а – start of work; б – adding a raster map background using the QuickOSM module; в – formation of new Shapefile layers

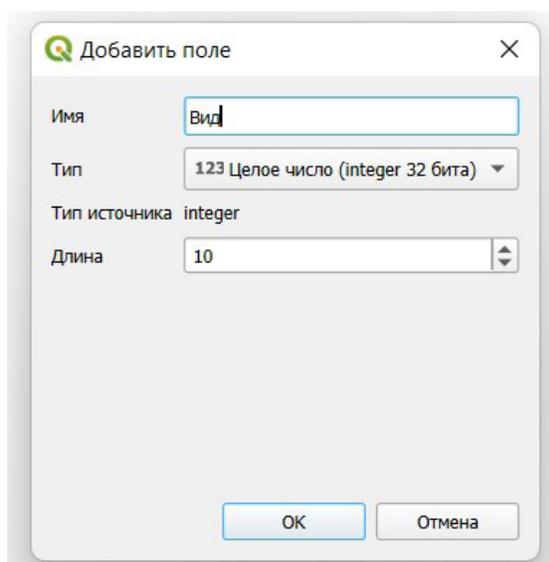
В нашем случае нужно сформировать четыре слоя объектов, таких как «дерево», «кустарник», «газон», «цветник (клумба)», имеющих различную геометрию (соответственно, точки в двух первых случаях и полигоны – в третьем и четвертом). В окне создания слоя Shapefile указываем имя файла (например, «Дерево») и настраиваем тип геометрии (в данном случае – точка) (рис. 6, а); в таблице атрибутов необходимого слоя определяем состав атрибутивных данных объектов, включив режим редактирования и добавляя «Новое поле» (рис. 6, б); в окне «Добавить поле» определяем имя поля и его тип («текст» или «число») (рис. 6, в) и весь набор необходимых атрибутов (рис. 6, г).



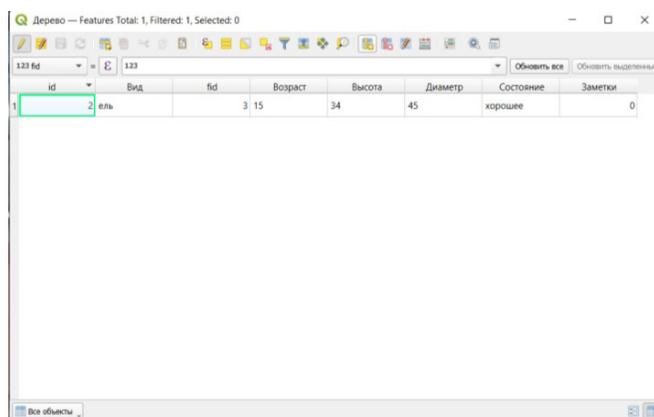
**а**



**б**



В



Г

**Рис. 6.** Работа со слоями геоинформационного проекта и определение:

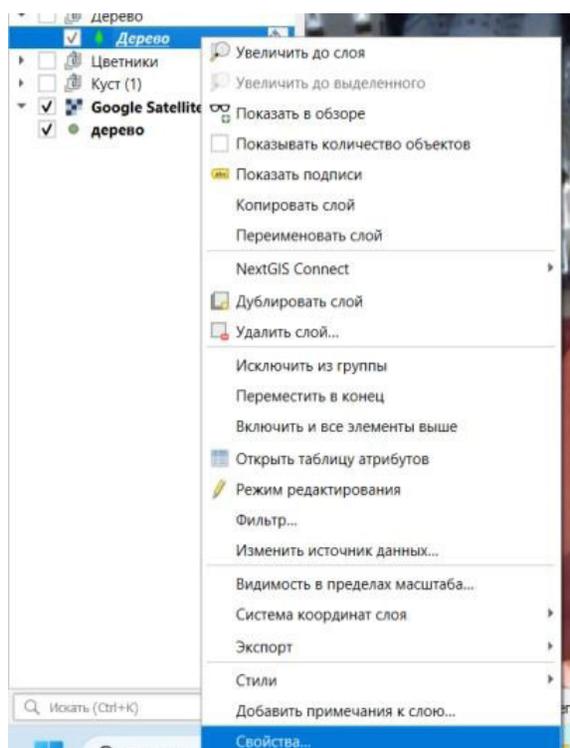
а – имени файла слоя с настройкой типа его геометрии; б – состава атрибутивных данных объектов в режиме редактирования; в – имени и типа поля; г – всего набора нужных атрибутов

**Figure 6.** Working with layers of a geoinformation project and defining:

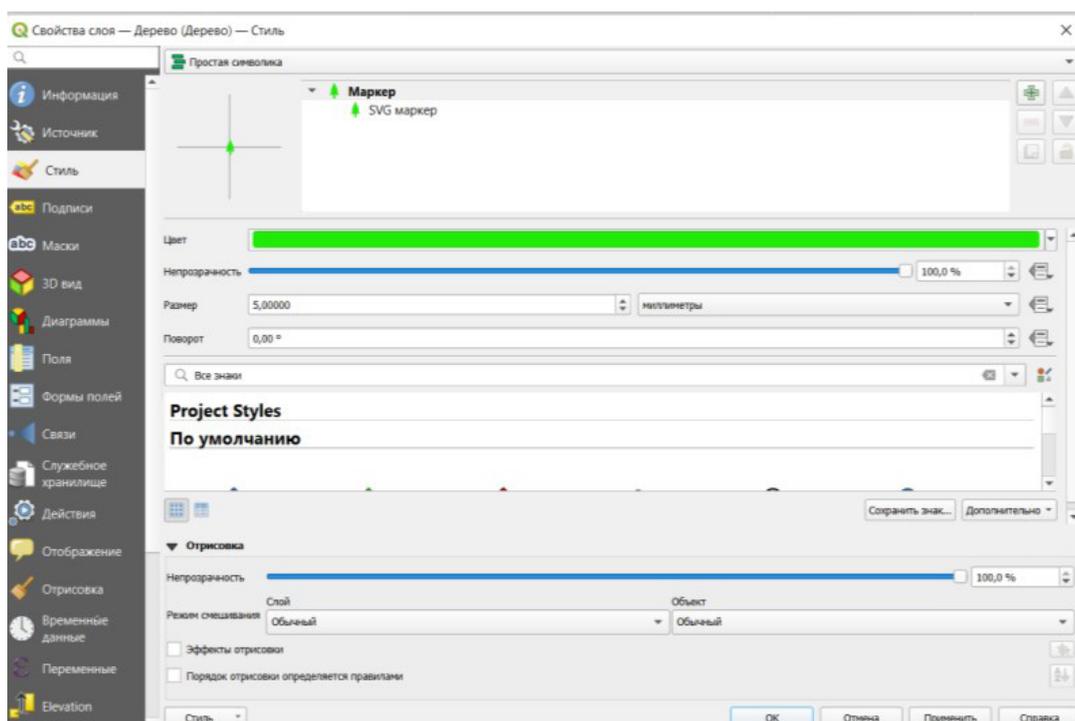
a – name of the layer file with setting the type of its geometry; b – composition of attribute data of objects in editing mode; c – field name and type; d – the entire set of necessary attributes

После изучения и анализа ряда паспортов объектов – элементов зеленых насаждений – было определено, что характеристика объекта «Дерево» должна включать ряд количественных и качественных данные. Это такие сведения, как вид (русское и латинское названия), диаметр (см), возраст (лет), высота (см), общее состояние (плохое, удовлетворительное, хорошее), наличие дупла (да, нет), размеры дупла (см), наличие вредителей (да, нет), виды вредителей (русское и латинское названия), наличие повреждений (да, нет), виды повреждений (названия). Соответственно добавляются нужные нам атрибуты и все внесенные в проект изменения сохраняются.

Далее для различного индивидуального отображения объектов необходимо назначить созданным слоям стили, выполнив их стилизацию. Так, для определения стиля для слоя «Дерево» правой кнопкой мыши выбирается нужный слой и далее – окно «Свойства слоя» (рис. 7, а), в котором выбирается вкладка «Стиль» и осуществляется настройка (рис. 7, б).



а



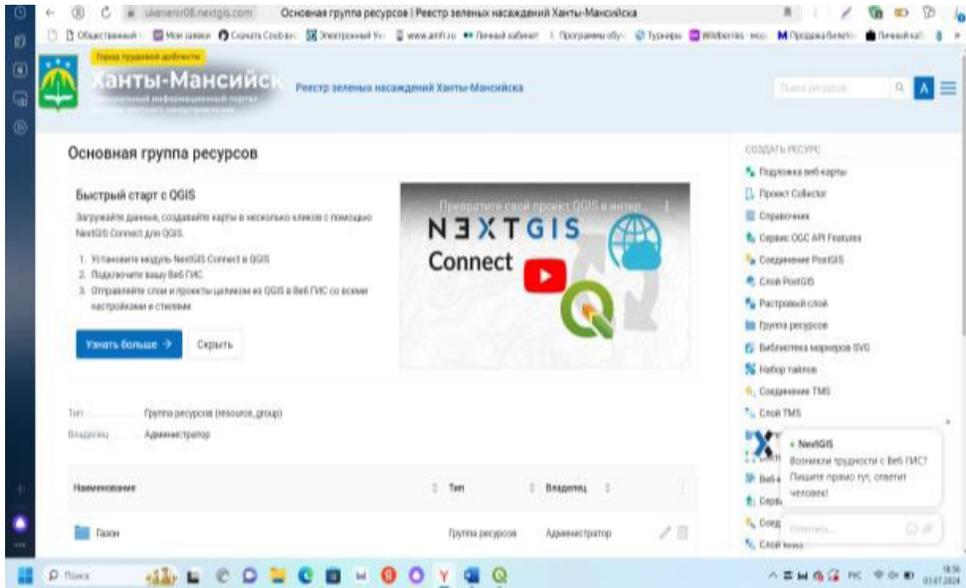
б

Рис. 7. Стилизация объектов слоев геоинформационного проекта:  
 а – выбор свойств нужного слоя; б – настройка стиля слоя

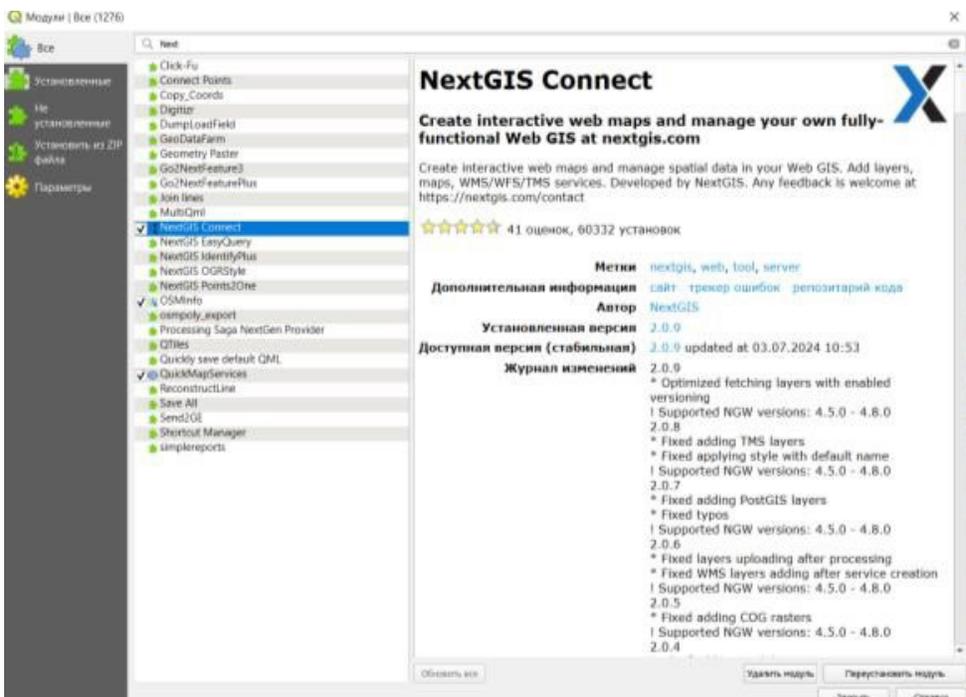
Figure 7. Styling objects of geoinformation project layers:  
 a – selection of properties of the desired layer; b – layer style settings

После создания слоев в геоинформационном проекте [13] NextGIS QGIS, начинается следующий этап работы, связанный с формированием проекта в NextGISWeb. Вначале необходимо зарегистрироваться и создать новый проект в облаке (рис. 8, а). Далее нужно вернуться в NextGIS QGIS для обеспечения соединения NextGIS QGIS и NextGIS Web посредством установленного в NextGIS QGIS модуля NextGIS Connect. В панели управления выбирается меню «Модули», далее – «Управление модулями», выбирается и подключается модуль NextGIS Connect (рис. 8, в).

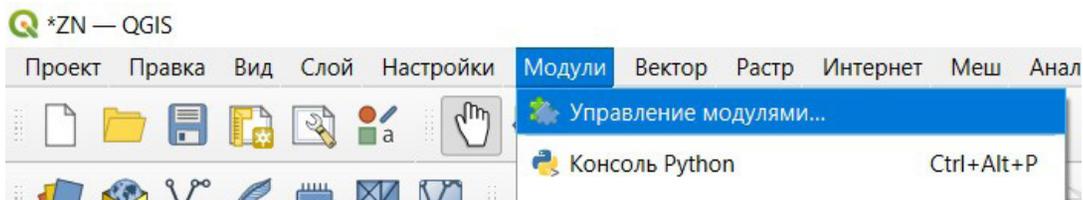
Через параметры соединения NextGIS Connect в окне «Создание подключения NextGIS Web» вносим URL ранее созданного облачного сервера (рис. 9, а).



а



б



В

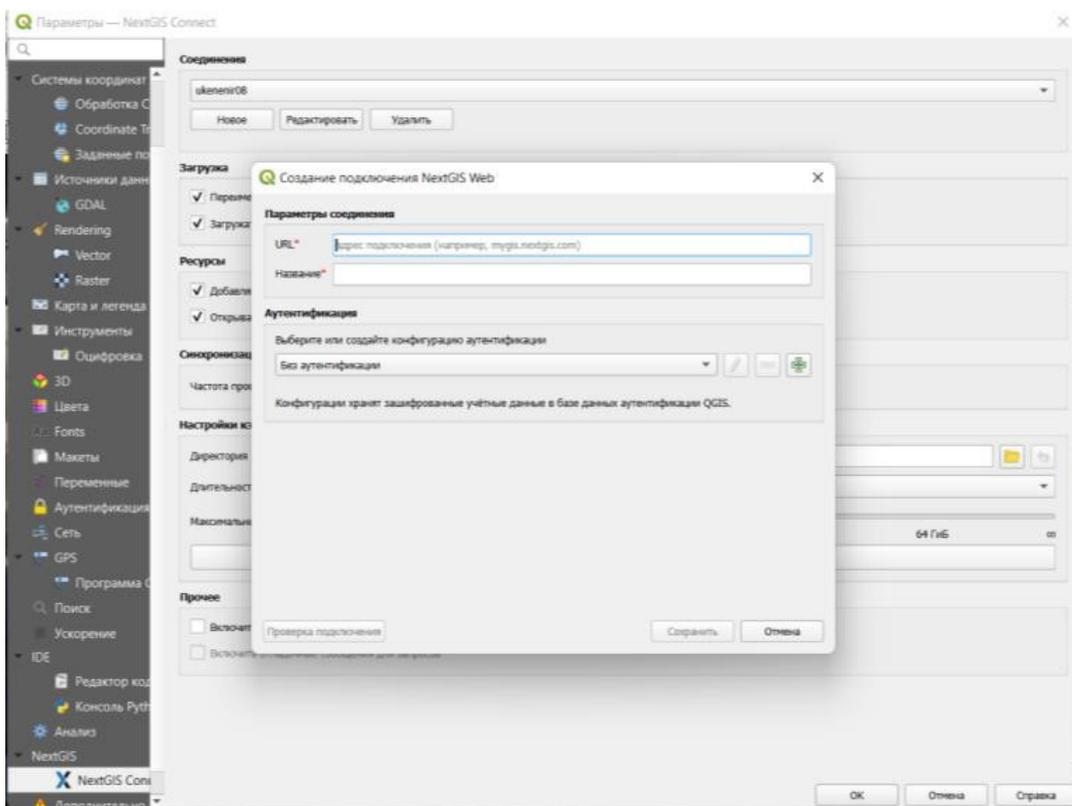
**Рис. 8.** Работа в Веб-ГИС:

а – регистрация и создание нового проекта; б, в – подключение модуля NextGIS Connect

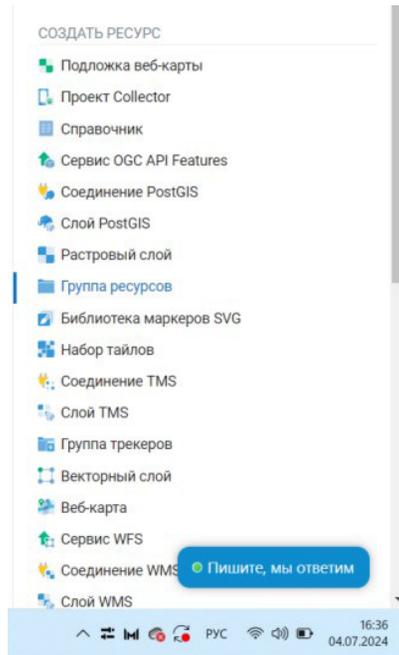
**Figure 8.** Working in Web GIS:

a – registration and creation of a new project; b, c – connecting the NextGIS Connect module

В Веб-ГИС в списке «Создать ресурс» находим «Группа ресурсов» (рис. 9, б), создаем папки для нужных объектов и даем наименование карте (рис. 9, в).



а



б



в

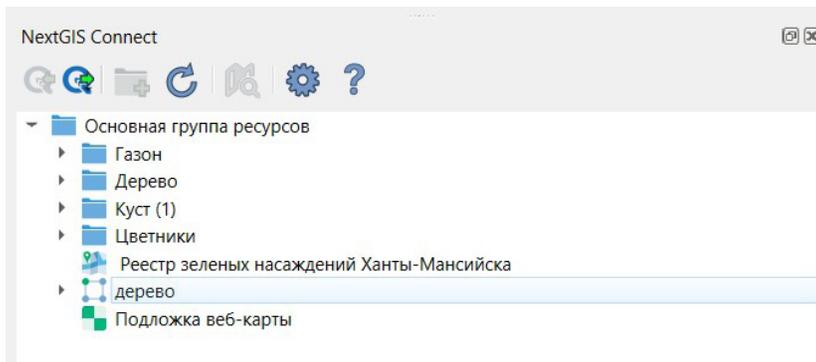
**Рис. 9.** Создание подключения NextGIS Web и ресурса: а – соединение; б, в – ресурс

**Figure 9.** Creating a NextGIS Web connection and resource: a – connection; b, c – resource

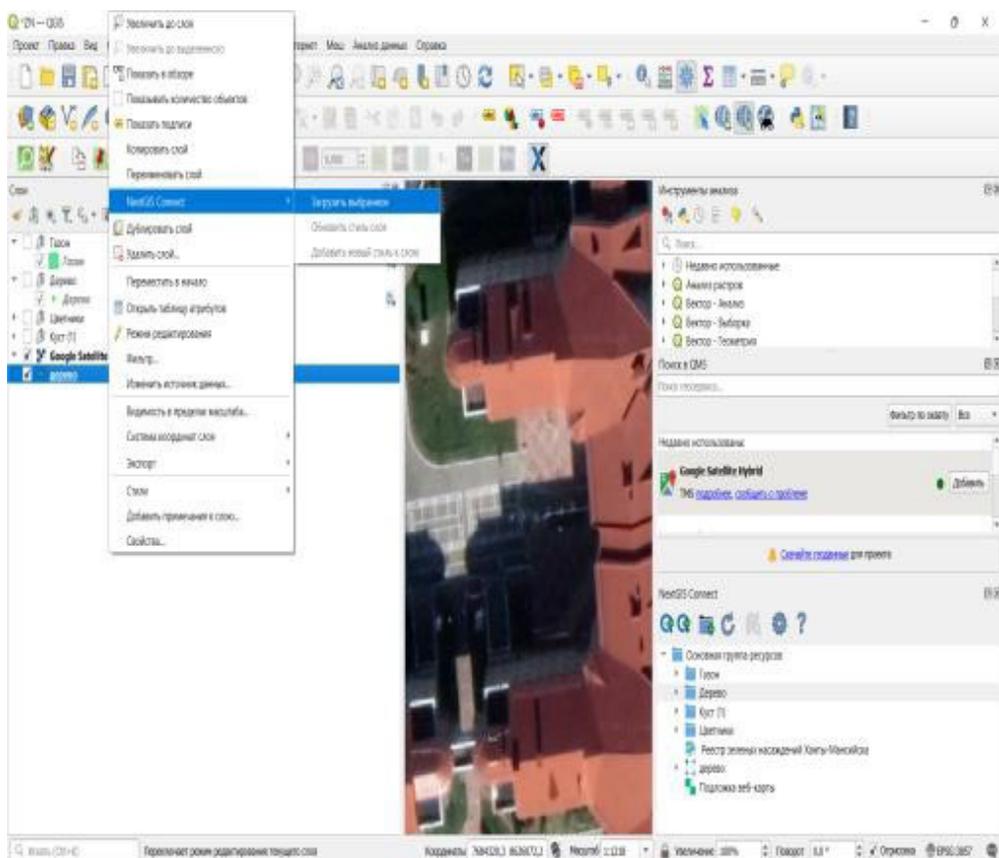
Становятся доступными готовые ресурсы, куда будут перемещены созданные слои (рис. 10, а). После активации модуля NextGIS Connect в QGIS и выполнения процедуры обновления в правой панели появляются ранее созданные ресурсы (рис. 10, б), в которые необходимо переместить слои. Для этого отмечается нужный ресурс, правой кнопкой выбирается нужный слой и NextGIS Connect – «Загрузить выбранное» (рис. 10, в).

Наименование	Тип	Владелец	
Газон	Группа ресурсов	Администратор	 
Дерево	Группа ресурсов	Администратор	 

а



б



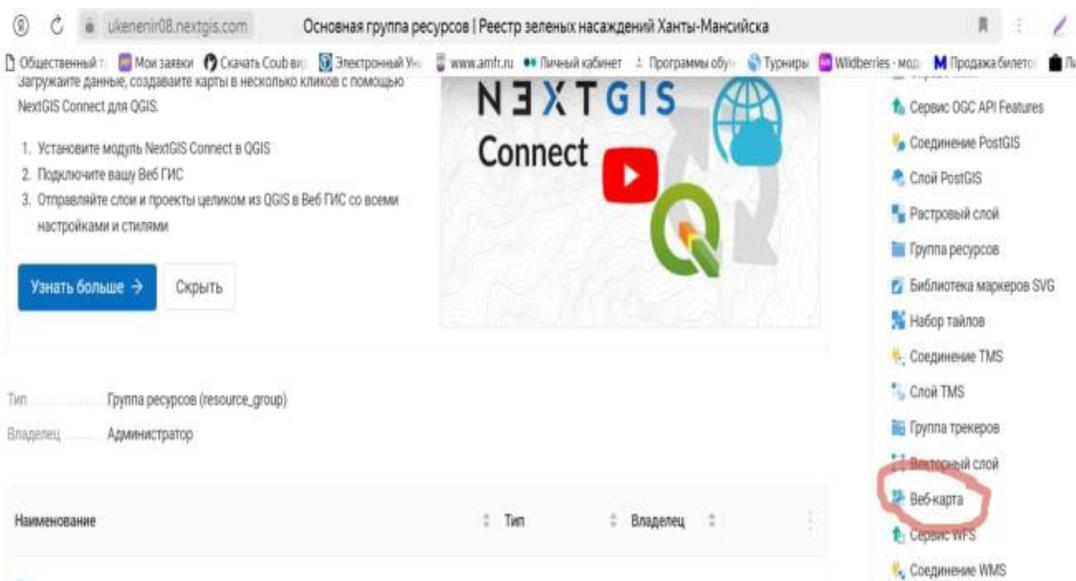
в

**Рис. 10.** Работа с ресурсами в NextGIS Connect:  
 а – доступными готовые ресурсы; б, в – загрузка нужных слоев  
**Figure 10.** Working with resources in NextGIS Connect:  
 a – available ready-made resources; b, c – loading the required layers

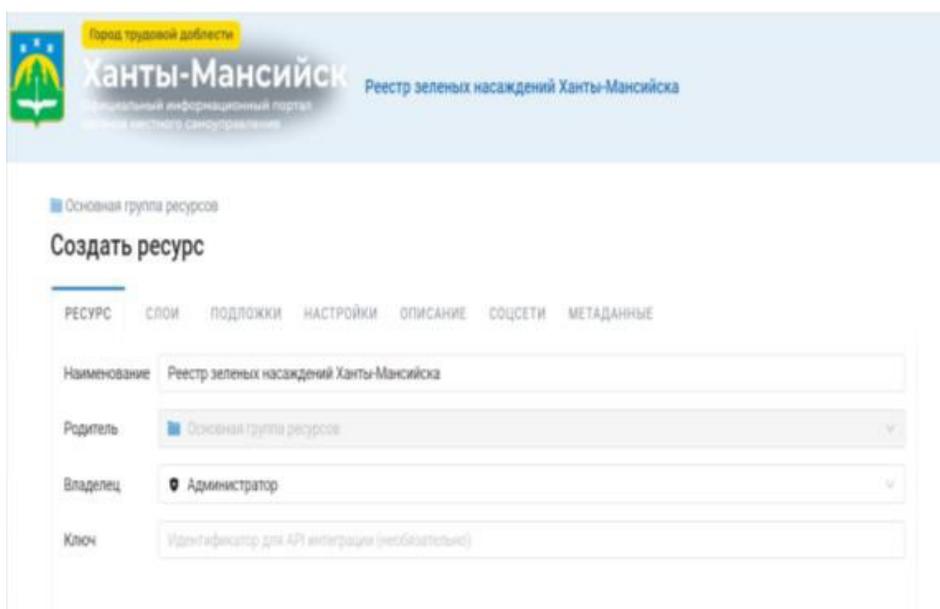
Для подтверждения отправки нужного слоя необходимо в правой панели NextGIS Connect открыть ресурс, где должен находиться добавленный слой (или зайти в облачный сервер) и проверить наличие ресурсов там.

Далее на облачном сервере создается веб-карта. На главной странице Веб ГИС находим ресурс «Веб-карта» (рис. 11, а), даем ему название (рис. 10, б) и во вкладке «Слои» добавляем свои стили (рис. 11, в). Созданная веб-карта становится доступной в группе ресурсов, а для ее просмотра необходимо использовать команду «Открыть» (рис. 11, г).

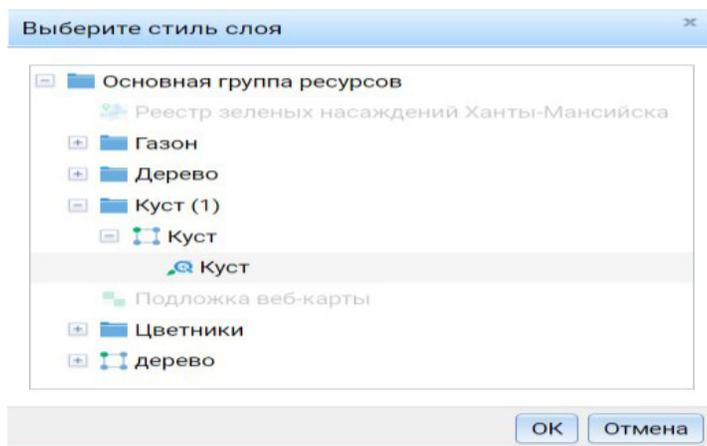
Результатом работ является веб-карта с изображенными на ней объектами, при выборе которых становится доступной соответствующая атрибутивная информация с (рис. 12). В созданную веб-карту можно вносить все необходимые изменения, добавлять и удалять объекты, а также редактировать ее.



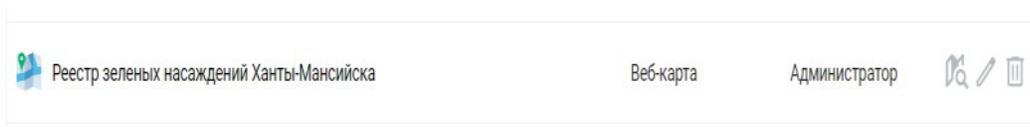
а



б



В



Г

Рис. 11. Работа с ресурсом «Веб-карта» в Веб ГИС:

- а – выбор ресурса; б – присвоение ему наименования; в – определение стилей слоев;
- г – просмотр Веб-карты

Figure 11. Working with the “Web Map” resource in Web GIS:

- a – selecting a resource; b – assigning a name to it; c – definition of layer styles;
- d – viewing a web map

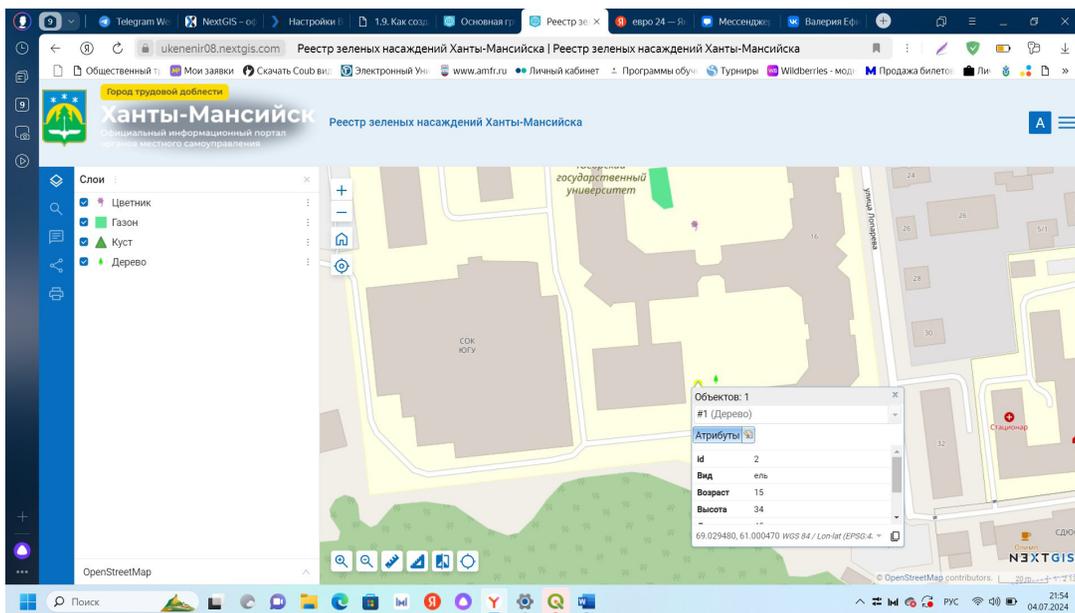


Рис. 12. Фрагмент готовой веб-карты зеленых насаждений г. Ханты-Мансийска

Figure 12. Fragment of a finished web map of green spaces in the city of Khanty-Mansiysk

### Обсуждение

По итогам исследования в удобной для организации работы и решения поставленных задач программе NextGIS Web была спроектирована и программно реализована база данных зеленых

насаждений модельной территории – ГИС «Зеленое ожерелье ЮГУ», создан соответствующий реестр и произведена его графическая визуализация в наиболее оптимальном, удобном, лаконичном виде, дающем возможность показа особенностей взаимного пространственного расположения, взаимодействия и взаимоотношений – картографическом [14, 15, 16, 17] – в виде предварительной карты зеленых насаждений г. Ханты-Мансийска.

Анализ хода реализации ГИС-проекта в среде ГИС NextGIS и полученных результатов позволил определить некоторые достоинства и недостатки данного ПО (последние посредством системы обратной связи представлены производителю разработчикам ГИС).

Выявленные преимущества заключались в следующем:

- ГИС NextGIS предоставляет собой гибкую и мощную геоинформационную платформу, которая может быть настроена и расширена в соответствии с конкретными потребностями ее пользователей;

- для нее характерна поддержка различных файловых форматов и наличие широкого набора инструментов для анализа и визуализации пространственных данных;

- ГИС обладает интуитивно понятным дружественным интерфейсом для организации и осуществления работы с геоинформационными данными;

- производителями ПО обеспечена возможность взаимодействия с другими системами и платформами, существенно облегчающая интеграцию разнородных данных и обмен ими.

Выявленные недостатки:

- использование данного ПО требует определенных навыков и знаний в области геоинформационных систем и технологий, что может оказаться сложным для пользователей-новичков (отчасти для снижения остроты данной проблемы ход проведенных исследований технологической последовательности представлен нами достаточно детально);

- использование NextGIS предполагает определенные издержки на обучение пользователей ПО и настройку системы в соответствии с их потребностями;

- некоторые функциональные возможности использованного ПО могут оказаться избыточными или попросту ненужными для некоторых пользователей, а это может повлечь за собой лишние расходы на лицензии и поддержку;

- наличие ряда определенных ограничений и достаточно ограниченной поддержки от разработчиков NextGIS может создать проблемы в случае возникновения ошибок или необходимости дополнительной настройки системы.

Считаем, что выявленные особенности (особенно определенные отрицательные моменты) реализации ГИС-проекта по картированию городских зеленых насаждений в использованном ПО ГИС NextGIS могут способствовать совершенствованию самого ПО и соответствующих технологических процессов.

### **Заключение**

Актуальность проблемы создания кадастра, организации и ведения мониторинга элементов городской среды для выполнения задач инвентаризации, учета и выявления состояния окружающей население среды (включая, в первую очередь, зеленые насаждения в городе), не остается неизменной, а даже постоянно повышается. Осуществление мониторинга позволяет отслеживать даже незначительное повышение активности разного рода вредоносных агентов и элементов, способных причинить вред не только окружающей среде, но и человеку [18]. В связи с этим в выполненном исследовании был произведен выбор ПО, пригодного для создания предварительной карты зеленых насаждений г. Ханты-Мансийска (в пределах модельной территории ЮГУ), при помощи программных продуктов NextGIS QGIS, NextGIS Mobile, NextGIS Web спроектирована и получена базовая карта. Полученные результаты работы в дальнейшем могут быть полезны для дальнейшего развития системы городского хозяйства, а созданные базы данных и полученные карты могут быть использованы администрацией г. Ханты-Мансийска и ее соответствующими подразделениями и службами, планирующими, организующими и

осуществляющими деятельность по инвентаризации зеленых насаждений и расширению их площади в качестве реестра зеленых насаждений.

### Литература

1. Ананьев, Ю.С. Геоинформационные системы : учеб. пособие / Ю.С. Ананьев. – Томск : Изд. ТПУ, 2003. – 70 с.
2. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: Реестр программного обеспечения. – URL: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/301657/> (дата обращения: 18.11.2024)
3. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: Реестр программного обеспечения. – URL: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/436852/> (дата обращения: 18.11.2024)
4. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: Реестр программного обеспечения. – URL: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/301574/> (дата обращения: 18.11.2024)
5. Потапова, Е.В. Экосистемные услуги озелененных территорий поселений / Е.В. Потапова // Бюллетень науки и практики. – 2016. – № 9 (10). – 36 с.
6. Реестр зеленых насаждений Тюмени. – URL: <https://gis.72to.ru/> (дата обращения: 18.11.2024)
7. Сайт NextGIS. – URL: <https://nextgis.ru/> (дата обращения: 18.11.2024)
8. Сайт OrbisMap. – URL: <https://www.orbismap.ru/> (дата обращения: 18.11.2024)
9. Сайт OrbisMap. – URL: <https://docs.orbismap.ru/> (дата обращения: 18.11.2024)
10. Сайт PlatoSoft. – URL: <https://platosoft.ru/> (дата обращения: 18.11.2024)
11. Сайт СУБД Postgres Pro. – URL: <https://postgrespro.ru/products/postgrespro> (дата обращения: 18.11.2024)
12. Тесленок, К.С. Программы для создания 3D-моделей населенных пунктов / К.С. Тесленок. // Природно-социально-производственные системы регионов компактного проживания финно-угорских народов. – Саранск : Изд-во Мордов. университета, 2011. – С. 310-312.
13. Тесленок, К.С. Создание геоинформационного проекта и его использование в целях развития хозяйственных систем / К.С. Тесленок // Геоинформационное картографирование в регионах России: материалы VII Всерос. науч.-практич. конф. (Воронеж, 10-12 дек. 2015 г.). – Воронеж : Научная книга, 2015. – С. 134-138.
14. Тесленок, С.А. Агрорландшафтогенез в районах интенсивного хозяйственного освоения : Исследование с использованием ГИС-технологий: монография / С.А. Тесленок. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing. 2014. – 189 с.
15. Тесленок, С.А. Использование карт : учеб. пособие / С.А. Тесленок. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2021. – 97 с. – 2,66 Мб. – URL: [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_010776558/?ysclid=lpdeadf4k9093221090](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010776558/?ysclid=lpdeadf4k9093221090) (дата обращения: 04.07.2024).
16. Тесленок, С.А. Методы и способы графической визуализации результатов исследования социальной комфортности проживания населения / С.А. Тесленок, К.С. Тесленок, Т.А. Долгачева, М.А. Скворцова // Актуальные проблемы гуманитарных и социально-экономических наук. – 2017. – Т. 11. – № 10. – С. 125-130.
17. Тикунов, В.С. Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение / В.С. Тикунов, Д.А. Цапук. – Москва, Смоленск : Изд-во СГУ, 1999. – 176 с.
18. Юртаев, А.А. Возможности геоинформационных систем и дистанционного зондирования Земли в исследованиях и мониторинге окружающей природной среды и обеспечения экологической безопасности / А.А. Юртаев, К.С. Тесленок // «Молодежь и наука – 2019»: материалы VI международ. студенч. науч.-практич. конф. «Молодежь и наука-2019», посвящ. «Jastar july»: в 5-х томах. – Т. 5. – Петропавловск, 2019. – С. 246-252.

## References

1. Ananyev YuS. Geoinformation systems; Study guide. Tomsk: TPU Publishing House; 2003:70.
2. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation: Software Registry. Available from: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/301657> / [Accessed: 04 July 2024].
3. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation: Software Registry. Available from: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/436852> / [Accessed: 04 July 2024].
4. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation: Software Registry. Available from: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr/301574> / [Accessed: 04 July 2024].
5. Potapova EV. Ecosystem services of green areas of settlements. Bulletin of science and practice. 2016;9(10):36.
6. The register of green spaces in Tyumen. Available from: <https://gis.72to.ru/> / [Accessed: 04 July 2024].
7. NextGIS website. Available from: <https://nextgis.ru/> / [Accessed: 04 July 2024].
8. OrbisMap website. Available from: <https://www.orbismap.ru/> / [Accessed: 04 July 2024].
9. OrbisMap website. Available from: <https://docs.orbismap.ru/> / [Accessed: 04 July 2024].
10. PlatoSoft website. Available from: <https://platosoft.ru/> / [Accessed: 04 July 2024].
11. Postgres Pro DBMS website. Available from: <https://postgrespro.ru/products/postgrespro> [Accessed: 04 July 2024].
12. Teslenok KS. Programs for the creation of 3 D-models of settlements. In: Natural-socio-production systems of the regions of compact residence of Finno-the Ugric peoples. Saransk: Publishing House of Mordovian University; 2011:310–312.
13. Teslenok KS. Creation of a geoinformation project and its use for the development of economic systems. In: Geoinformation mapping in the regions of Russia: materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference (Voronezh, 10-12 Dec. 2015). Voronezh: Scientific Book; 2015:134–138.
14. Teslenok SA. Agrolandscapegenesis in areas of intensive economic development: A study using GIS technologies: monograph. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing; 2014:189.
15. Teslenok SA. The use of maps: studies. Saransk: Publishing house of Mordovian university; 2021:97. Available from: [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_010776558/?ysclid=lpdeadffk9093221090](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010776558/?ysclid=lpdeadffk9093221090) [Accessed: 04 July 2024].
16. Teslenok SA, Teslenok KS, et al. Methods and ways of graphical visualisation of the results of the study of social comfort of living. Actual problems of humanitarian and socio-economic sciences. 2017;11(10):125–130.
17. Tikunov VS, Tsapuk DA. Sustainable development of territories: cartographic and geoinformation support. Moscow, Smolensk: Publishing House of SSU; 1999:176.
18. Yurtaev AA, Teslenok KS. Possibilities of geoinformation systems and remote sensing of the Earth in research and monitoring of the natural environment and ensuring environmental safety. In: «Youth and Science – 2019»: materials of the VI International student scientific and practical conference «Youth and Science-2019» dedicated to «Jastar jyly»: in 5-x volumes. Petropavlovsk, 2019;5:246–252.

## Сведения об авторах

*ТЕСЛЕНОК Сергей Адамович* – к.г.н., доцент Высшей экологической школы Югорского государственного университета. E-mail: [teslenok-sa@mail.ru](mailto:teslenok-sa@mail.ru)

*TESLENOK Sergei A.* – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Higher Ecological School, Yugra State University

*ФРОЛОВ Анатолий Сергеевич* – магистрант, ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет». E-mail: [froloff.frolov123@yandex.ru](mailto:froloff.frolov123@yandex.ru)

*FROLOV Anatoly S.* – undergraduate student, Yugra State University

*Р.Д. Шагалиев, Е.А. Богдан✉, А.Ф. Галямов, Л.Н. Белан,  
О.И. Ишкинина, Г.Г. Валиев*

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

✉ eavolkova@bk.ru

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ СУХОСТОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**Аннотация.** На территории Российской Федерации отмечаются массовые усыхания древостоя, которые вызваны воздействием патогенных организмов, насекомых, грибных инвазий, а также распространением бактериальных заболеваний деревьев. Разработка систем дистанционного мониторинга лесных экосистем крайне важна для управления лесными ресурсами и принятия обоснованных решений в отношении сохранения и восстановления лесов. Целью настоящего исследования является разработка программного модуля для автоматизации процесса идентификации сухостойных деревьев на основе данных дистанционного зондирования Земли. Анализ различных стратегий обнаружения и сегментации, включая традиционные методы компьютерного зрения и нейронные сети на основе искусственного интеллекта, позволил выбрать обнаружение объектов в качестве основного метода из-за его эффективности при маркировке и способности количественно оценивать участки поражения деревьев. Сочетание метода обнаружения объектов со снимками высокого разрешения, полученными с применением БПЛА, оказалось наиболее эффективным для точного обнаружения сухостойных деревьев.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, изменение климата, дистанционное зондирование Земли, беспилотные летательные аппараты, спутниковые снимки, обнаружение объектов, сегментация.

**Для цитирования:** Шагалиев Р.Д., Богдан Е.А., Галямов А.Ф., Белан Л.Н., Ишкинина О.И., Валиев Г.Г. Идентификация сухостойных деревьев с помощью искусственного интеллекта на основе данных дистанционного зондирования Земли. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2024, № 4. С. 138–149. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-138-149

**Финансирование:** исследование выполнено в рамках программы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Приоритет-2030» (Национальный проект «Наука и университеты»).

*R.D. Shagaliev, E.A. Bogdan✉, A.F. Galyamov, L.N. Belan,  
O.I. Ishkinina, G.G. Valiev*

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

✉ eavolkova@bk.ru

## IDENTIFICATION OF DEAD TREES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED ON EARTH REMOTE SENSING DATA

**Abstract.** On the territory of the Russian Federation, there are massive shrinking of the stand, which are caused by the effects of pathogens, insects, fungal infestations, as well as the spread of bacterial diseases of trees. The development of remote monitoring systems for forest ecosystems is extremely important for the management of forest resources and making informed decisions regarding the conservation and restoration of forests. The purpose of this study was the development of a software module for automating the identification process of dead trees based on Earth remote sensing data. The analysis of various detection and segmentation strategies, including traditional computer vision methods and neural networks based on artificial intelligence, made it possible to choose object detection as the main method due to its effectiveness in labeling and the ability to quantify areas of tree damage. The combination of the object detection method with high-resolution images obtained using UAVs proved to be the most effective for accurate detection of dead trees.

**Keywords:** artificial intelligence, climate change, remote sensing of the Earth, unmanned aerial vehicles, satellite imagery, object detection, segmentation.

**For citation:** Shagaliev R.D., Bogdan E.A., Galyamov A.F., Belan L.N., Ishkinina O.I., Valiev G.G. Identification of dead trees using artificial intelligence based on Earth remote sensing data. *Vestnik of NEFU. Earth Sciences*. 2024, № 4. Pp. 138–149. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-4-138-149

**Funding:** the research was carried out within the framework of the program of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation “Priority 2030” (National project “Science and Universities”).

## Введение

Территория России на 46,4 % занята лесами [1], что определяет глобальное значение лесов для страны не только как источника ценнейшего сырья, но и как важного компонента биосферы, во многом определяющего условия жизни на Земле. Сохранение лесов на территории России имеет ключевое значение для поддержания экологического баланса, защиты биоразнообразия и смягчения последствий изменения климата. В связи с этим, особенно актуальным становится необходимость развития дистанционных систем мониторинга состояния лесных экосистем, в частности распространения эпифитотий, что позволяет своевременно выявлять и предотвращать угрозы, обеспечивая защиту лесов и их экосистемных функций. Эффективный мониторинг позволит не только улучшить управление лесными ресурсами, но и принимать обоснованные решения по их охране и восстановлению.

На территории Российской Федерации отмечаются массовые усыхания древостоя, которые вызваны воздействием патогенных организмов. Причинами деградации древостоев являются насекомые (короед-типограф *Ips typographus*, короед союзный *Ips amitinus* [2-4]; сибирский шелкопряд *Dendrolimus sibiricus* [5], непарный шелкопряд *Lymantria dispar* [6] и др.), грибные инвазии (корневая губка *Heterobasidion annosum* и др.) [7-9].

Кроме эпифитотий, вызванных насекомыми и грибными инвазиями, имеют широкое распространения и бактериальные инфекции древостоя. Так в Республике Татарстан отмечено распространение бактериальной водянки осины [10]. В Республике Башкортостан [11], Донецкой Народной Республике [12] и других регионах широко встречается заболевание березовых древостоев, вызванное действием бактерии *Erwinia multivora*.

Оперативное обнаружение эпифитотий обеспечивается методами дистанционного зондирования Земли. Например, для выявления очагов заражения короедом-типографом использовались подходы классификации снимков Landsat 7 (каналы 3, 4, 5) методом ISODATA, а также вегетационные индексы NDVI и SWVI [2, 13]. В Алтайском крае для обнаружения участков, зараженных полиграфом уссурийским (*Polygraphus proximus*), применялись как автоматические, так и визуальные методы дешифрирования изображений Sentinel-2 и Канопус-В [14].

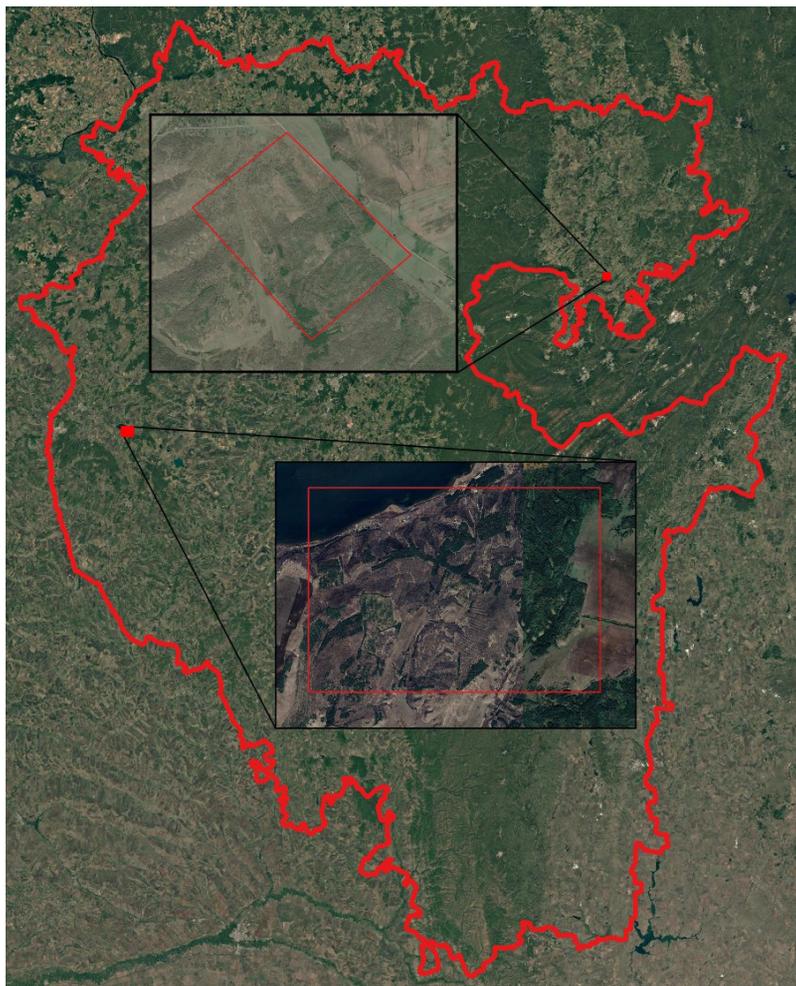
В отличие от эпифитотий, вызванных насекомыми, очаги, обусловленные бактериальными инфекциями, такими как бактериальная водянка березы, хуже визуализируются на инфракрасных изображениях. Более эффективно такие эпифитотии выявляются на оптических космических снимках высокого разрешения (1 м и более) и изображениях, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Однако ручная оцифровка таких снимков требует много времени и может быть недостаточно точной.

Целью настоящего исследования является разработка программного модуля для автоматизации процесса идентификации сухостойных деревьев на основе данных дистанционного зондирования Земли и тестирование программного модуля на различных типах исходных данных для наиболее точного обнаружения сухостойных вершин. Результаты работы могут быть использованы государственными и муниципальными службами, осуществляющими деятельность по предупреждению возникновения лесных пожаров, а также ведомствами, выполняющими функции по защите лесного хозяйства от распространения вредителей леса.

## Материалы и методы исследования

Объектами исследования являются лесные массивы средневозрастных березовых древостоев, расположенные в Туймазинском районе Республики Башкортостан на территории природ-

ного парка «Кандры-Куль» и в Салаватском районе Республики Башкортостан на территории глобального геопарка ЮНЕСКО «Янган-Тау» (рис. 1).



**Рис. 1.** Объекты исследования

**Figure. 1.** Objects of research

Оперативный мониторинг и съемка объектов исследования выполнялись беспилотным воздушным судном самолетного типа Geoscan 201M с оптической камерой Sony DSC-RX1RM2 в режиме визуального контроля на высотах, не превышающих 150 м. Условия и общие параметры съемки объектов исследования приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Условия съемки объектов исследования

Table 1 – Conditions for shooting the objects of investigation

Параметр	Природный парк «Кандры-Куль»	Глобальный геопарк ЮНЕСКО «Янган-Тау»
Период съемки	Июнь 2024 г.	Сентябрь 2024 г.
Погодные условия	Температура воздуха +25 С°, переменная облачность, без осадков, скорость ветра – 2-4 м/с без порывов	Температура воздуха +16 С°, ясно, без осадков, скорость ветра – 1-2 м/с без порывов
Общее время полета	97 минут	46 минут
Площадь съемки	7,236 км <sup>2</sup>	2,450 км <sup>2</sup>

В результате камеральной обработки получены фотопланы объектов исследования – лесных массивов, с пространственным разрешением 2,9 см/пикс (рис. 2 и 3).

Современные методы искусственного интеллекта в сочетании с методами глубокого обучения с высокой точностью и надежностью позволяют автоматизировать обнаружение сухостойных деревьев. Две основные задачи, которые решают нейронные сети в этой области, – это обнаружение объектов и сегментация.



**Рис. 2.** Природный парк «Кандры-Куль»  
**Figure 2.** Kandy-Kul Natural Park



**Рис. 3.** Глобальный геопарк ЮНЕСКО «Янган-Тау»  
**Figure 3.** Yangan-Tau UNESCO Global Geopark

Модели обнаружения объектов, такие как YOLO (You Only Look Once), фокусируются на идентификации и локализации определенных объектов на изображении. Эти модели выводят ограничивающие рамки вокруг интересующих объектов (в данном случае деревьев) и классифицируют, являются ли деревья здоровыми или пораженными. Основой обнаружения объектов являются сверточные нейронные сети (CNN). Расширенные версии, такие как YOLOv8, хорошо подходят для задач обнаружения в реальном времени благодаря своей скорости и точности. Модели обнаружения объектов можно обучить идентифицировать и выявлять сухостойные деревья, отмечая их местоположение на карте.

В то время как обнаружение объектов идентифицирует и локализует деревья, сегментация изображения обеспечивает точность на уровне пикселей. Сегментация делит изображение на отдельные области, присваивая каждому пикселю метку: здоровый, больной. Для задач сегментации используются полностью сверточные сети (FCN), U-Net и Segformer. Например, при обнаружении сухостойных вершин деревьев сегментация может использоваться для изоляции точных областей поражения на каждом дереве, обеспечивая более подробную информацию, чем простое обнаружение объектов, поскольку она определяет, какая часть кроны дерева поражена.

Для решения задачи вместо написания собственной модели с разработанной структурой можно использовать предварительно обученные модели для точной настройки на меньшем наборе данных изображений деревьев для повышения производительности при выполнении определенных задач, таких как обнаружение признаков усыхания деревьев. Это снижает потребность в больших наборах данных и ускоряет процесс обучения.

Объединение данных из нескольких источников (например, видеоматериалов с БПЛА и спутниковых снимков) повышает способность модели обнаруживать пораженные деревья.

Для создания набора данных нами был выбран метод обнаружения объектов, который, по сравнению с методом сегментации изображений, обеспечивает более эффективную разметку.

### Результаты и их обсуждение

Для исследования использован набор данных, состоящий из 100 изображений с высоким разрешением (8000x6000 пикселей), включающим кадры лесных массивов с камеры БПЛА, пораженных бактериальной водянкой. Эти изображения были выбраны для обеспечения подробного обзора отдельных деревьев, что позволяет точно обнаруживать и анализировать заболевание.

Вместо использования обычных инструментов маркировки, таких как Roboflow, мы выбрали Label Studio – более подходящий вариант для работы с изображениями большого размера. Способность Label Studio эффективно обрабатывать изображения высокого разрешения имела решающее значение, поскольку она позволяет нам сохранять полную детализацию набора данных без необходимости уменьшать масштаб или преждевременно разделять изображения во время процесса маркировки. Набор данных был тщательно аннотирован путём маркировки усыхающих деревьев, что позволило создать полный и подробный обучающий набор данных.

Чтобы решить задачу обнаружения сухостойных вершин пораженных деревьев, были обучены четыре сети YOLOv8 с различными конфигурациями: две средние модели (YOLOv8m – Medium) и две большие модели (YOLOv8l – Large). Мы применили два различных подхода к обучению:

1) Нарезка данных с помощью метода скользящего окна: в этом подходе исходные изображения 8000x6000 были разрезаны на более мелкие части 1280x1280 пикселей с помощью алгоритма скользящего окна, поскольку это позволило сети обрабатывать набор данных управляемыми фрагментами без потери разрешения. Этот метод был разработан для захвата мелких деталей, которые могли быть упущены в сжатом изображении.

2) Второй подход включал сжатие всего изображения 8000x6000 до разрешения 1280x1280. Это сохраняло общую структуру изображения, но уменьшало разрешение, что упрощало обработку модели YOLOv8. Однако сжатие может привести к некоторой потере мелких деталей.

Для обоих подходов – скользящего окна и сжатия разрешения – мы обучили среднюю и большую модель. Это позволило провести комплексное сравнение размеров моделей и методов подготовки изображений с целью определения наиболее эффективной комбинации для точного обнаружения пораженных деревьев.

Ниже представлена сравнительная таблица (табл. 2), основанная на показателях точности (ассурагу) для четырех моделей YOLOv8.

Таблица 2 – Показатели точности для моделей YOLOv8

Table 2 – Accuracy Metrics for YOLOv8 Models

YOLO	Скользящее окно	Сжатие разрешения
Medium	0,54	0,49
Large	0,63	0,62

Близкое качество обеих моделей семейства YOLOv8 – Large показало необходимость проверить результаты моделей на реальных данных.

Метрики, представленные на рис. 4, дают подробное представление о ходе обучения и проверки модели YOLOv8, особенно фокусируясь на следующих ключевых аспектах:

а) Потери при обучении:

train/box\_loss: потери рамки измеряют, насколько хорошо модель предсказывает местоположения ограничивающих рамок для деревьев. Постоянное снижение говорит о том, что модель становится лучше в точной локализации деревьев по мере обучения. Кривая сходится, что является хорошим признаком.

train/cls\_loss: потери классификации, которые измеряют, насколько хорошо модель классифицирует деревья как здоровые или пораженные. Постоянное снижение говорит о том, что модель улучшает идентификацию правильных меток.

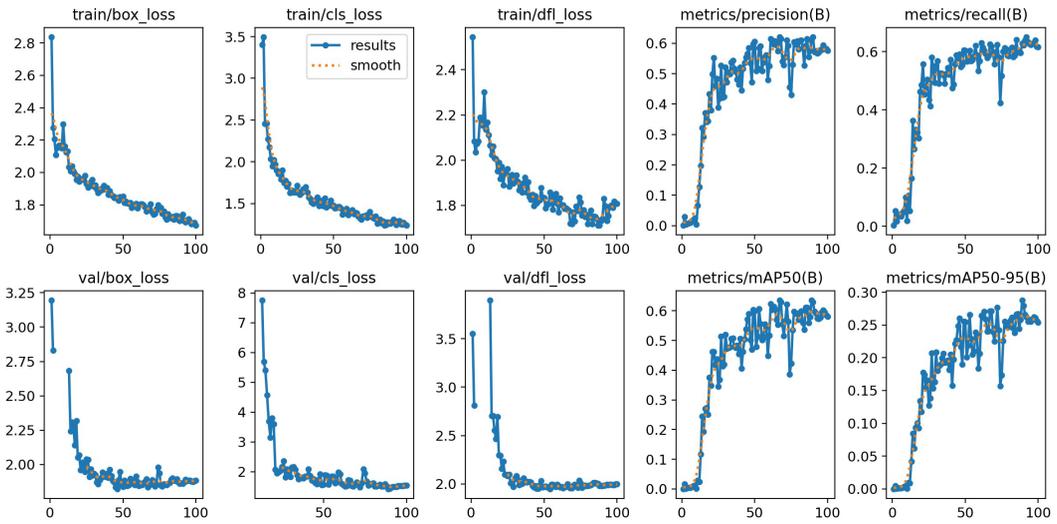


Рис. 4. Графики обучения YOLOv8l

Figure 4. YOLOv8l training schedules

train/dfl\_loss: потери распределения очага (DFL) фокусируются на улучшении качества регрессий ограничивающих рамок. Убывающая кривая здесь говорит об улучшениях в тонкой настройке границ обнаружения объектов.

б) Потери при валидации:

val/box\_loss: отслеживает, насколько хорошо модель обобщает свои прогнозы ограничивающего прямоугольника на невидимые данные проверки. Нисходящая тенденция является положительным показателем, показывающим, что производительность модели улучшается на наборе проверки.

val/cls\_loss: аналогично train/cls\_loss, но для данных проверки. Резкое снижение на раннем этапе является многообещающим, и модель хорошо стабилизируется к концу обучения.

val/dfl\_loss: снова, сосредоточившись на качестве прогнозов ограничивающего прямоугольника, это показывает устойчивое снижение, что указывает на улучшение обобщения модели.

с) Точность, полнота и метрики mAP (верхняя и нижняя строки):

metrics/precision(B): точность измеряет, сколько деревьев, обнаруженных как пораженные, были правильно идентифицированы. Точность начинается с низкого значения, но последовательно улучшается, стабилизируясь около 0,6. Это говорит о том, что модель становится более надежной в обнаружении фактически больных деревьев по мере обучения.

metrics/recall (B): recall измеряет, сколько фактически затронутых деревьев было успешно обнаружено. Он неуклонно растет и достигает пика около 0,65. Тенденция к росту показывает, что модель становится лучше в поиске всех затронутых деревьев.

metrics/mAP50 (B): mean Average Precision при 50 % IoU (пересечение по объединению) показывает, насколько хорошо модель обнаруживает деревья в пределах допустимых перекрытий ограничивающих рамок. Кривая, поднимающаяся к 0,65, указывает на хорошую локализацию для большинства деревьев.

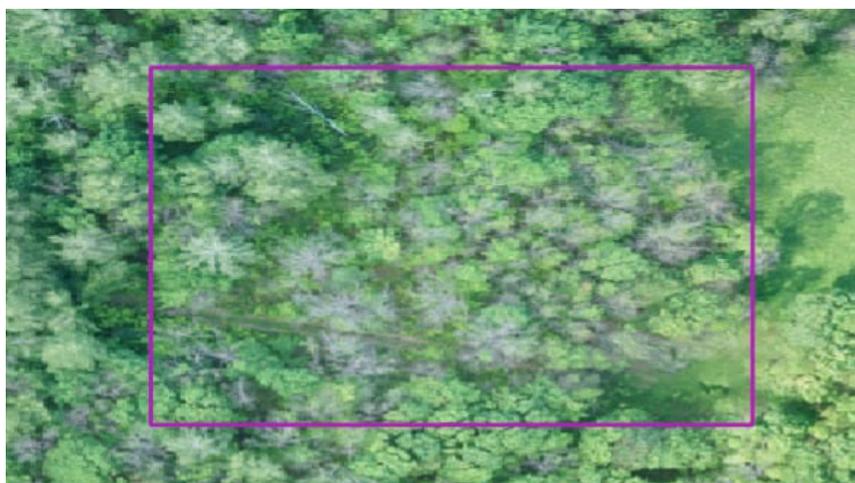
metrics/mAP50-95 (B): более строгая метрика mAP (в диапазоне от 50 % до 95 % порогов перекрытия IoU) неуклонно растет и стабилизируется около 0,25-0,30. Это более жесткий критерий, поэтому ожидается более низкое значение.

Модель хорошо обучается и улучшает локализацию ограничивающего прямоугольника и классификацию как на обучающих, так и на проверочных данных.

Показатели точности, полноты и mAP указывают на то, что модель может надежно обнаруживать и классифицировать пораженные деревья. Устойчивое улучшение и сходимость как в

кривых потерь обучения, так и в кривых потерь проверки свидетельствуют о том, что модель не переобучается, но может выиграть от дальнейшего обучения для полной стабилизации, особенно в отношении точности.

На рис. 5 представлены результаты обнаружения для модели YOLOv8 – Large с использованием срезов данных, которые показывают, что модель не может идентифицировать большинство деревьев, пораженных бактериальной водянкой. Единственный ограничивающий прямоугольник на изображении объединяет множество объектов: модель распознала объект, но пропустила большинство больных деревьев. Такая низкая эффективность связана с несколькими факторами, включая сложность среды, ограниченную способность модели фиксировать мелкие детали.



**Рис. 5.** Распознавание фрагмента с использованием нарезанных данных

**Figure 5.** Fragment recognition using cropped data

На рис. 6 представлены результаты обнаружения для модели YOLOv8 – Large с использованием сжатых данных. Эта модель смогла обнаружить значительно большее количество больных деревьев, на что указывает плотное распределение ограничивающих прямоугольников по лесной территории. Несмотря на сжатие при обучении исходных изображений 8000x6000 до 1280x1280 пикселей, большая модель сохранила свою способность идентифицировать зараженные деревья на комплексном ортофотоплане, что говорит о том, что данный метод более эффективен при обработке сложных, высокоплотных областей интереса.



**Рис. 6.** Распознавание фрагмента с использованием сжатых данных

**Figure 6.** Fragment recognition using compressed data

Модель срезов данных обнаруживает очень мало больных деревьев, при этом большие участки леса остаются немаркированными, показывая, что способность модели обобщать более мелкие участки изображения ограничена.

Модель сжатых данных демонстрирует превосходное обнаружение, успешно идентифицируя большое количество больных деревьев. Даже со сжатыми изображениями более крупная модель отлично различает деревья, пораженные болезнью.

Это сравнение показывает, что, хотя срезы данных могут сохранять детали изображения, для обработки сложного обнаружения деревьев на снимках густого леса, особенно для задач обнаружения тонких заболеваний, необходима более крупная модель с большей емкостью.

На рис. 7 и 8 представлены результаты вывода модели на одном и том же участке карты, но из двух разных источников: спутниковые снимки и кадры съёмки с БПЛА. Оба изображения охватывают одну и ту же область, однако видно, что качество и детализация обнаружения значительно различаются между ними.



**Рис. 7.** Фрагмент спутникового снимка  
**Figure 7.** Fragment of satellite image



**Рис. 8.** Фрагмент снимка с БПЛА  
**Figure 8.** Fragment of an image with using UAV

Спутниковый снимок обеспечивает более широкую область поиска и идентификации, что делает его пригодным для крупномасштабного мониторинга. Однако из-за большой высоты и ограниченного разрешения по сравнению со снимками с БПЛА, производительность модели,

как правило, менее точна. Обнаружение небольших отдельных сухостойных деревьев является более сложной задачей, поскольку меньшее пространственное разрешение (>30 сантиметров на пиксель) затрудняет различение тонких деталей, таких как изменение текстуры и цвета дерева. Следовательно, модель может пропустить больные деревья или перепутать здоровые с зараженными из-за недостатка данных.

Напротив, результаты, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов, демонстрируют значительно более высокий уровень точности и детализации. Использование БПЛА на малых высотах позволяет получать изображения с высоким разрешением, что облегчает обнаружение больных деревьев за счёт более детального изучения структуры леса и характеристик отдельных деревьев. Снимки с БПЛА в высоком разрешении позволяют лучше различать тонкие особенности, такие как текстура и цветовые вариации, что приводит к увеличению количества правильно обнаруженных больных деревьев. Кроме того, улучшенная производительность обнаружения также подчеркивает способность модели работать лучше при наличии высококачественных данных, что позволяет ей более четко различать здоровые и зараженные деревья.

Использование данных съемки с БПЛА показало свою эффективность для определения структуры древостоя [15-19]. Высокая детализация позволяет выделять угнетенных древостой как визуальными [15], так и медами машинного обучения с применениями нейронных сетей [16-19]. Последние демонстрируют высокую эффективность. В работе Иванова и др. (2018) [16] показано, что при сопоставлении результатов с данными наземных исследований и ортофотопланом (полученном в результате съемки с БПЛА) из 241 найденного алгоритмом дерева 175 обнаружены корректно (72,6 %).

Как было сказано выше особую эффективность в определении древостоя, поврежденного короедом *Polygraphus Proximus* Blandford продемонстрировало использование глубоких нейронных сетей You Only Look Once (YOLO) [17-19]. В частности, эксперименты показывают, что YOLOv4 достигает особенно хороших результатов при применении предварительной обработки BCET [17]. Наилучший результат тестирования при сравнении моделей YOLO был получен для YOLOv4 со средней точностью до 95 %. При этом попиксельная классификация видов мультиспектральных изображений может быть выполнена с общей погрешностью около 1 %, что значительно меньше, чем при обработке изображений в формате RGB [19]. Наши результаты также демонстрируют эффективность применения нейронных сетей YOLO.

### **Заключение**

В данном исследовании были изучены методы обнаружения сухостойных деревьев с использованием комбинации спутниковых и беспилотных снимков, а также различных подходов глубокого обучения. После анализа различных стратегий обнаружения и сегментации, включая традиционные методы компьютерного зрения и нейронные сети на основе искусственного интеллекта, мы выбрали обнаружение объектов в качестве основного метода за его эффективность в маркировке и способность предоставлять данные о количестве деревьев.

Было реализовано четыре модели с использованием архитектуры YOLOv8, обучены две средние и две большие модели. Обучение проводилось на наборе данных, состоящем из изображений высокого разрешения, обработанных двумя способами: нарезка изображений на более мелкие части с помощью скользящего окна и сжатие исходных изображений до 1280x1280 пикселей для прямой маркировки. Подход скользящего окна показал себя лучше, особенно на больших моделях, поскольку он сохранял более высокое разрешение изображения и приводил к более точному обнаружению.

Сравнительный анализ результатов, полученных на основе спутниковых снимков и снимков, сделанных с использованием беспилотных летательных аппаратов выявил ключевое различие. Данные с БПЛА показывают значительно лучшее обнаружение благодаря более высокому разрешению и более мелким деталям, что позволяло модели точнее идентифицировать больные деревья. Спутниковые снимки, напротив, обеспечивают лучшее покрытие больших террито-

рий, но были менее эффективны при обнаружении отдельных зараженных деревьев из-за более низкого разрешения.

Таким образом, сочетание метода обнаружения объектов со снимками высокого разрешения, полученными с применением БПЛА, оказалось наиболее эффективным методом для точного обнаружения сухостойных деревьев.

### Литература

1. Пыжев, А. И. Лесные ресурсы Азиатской России: богатство или дефицит? / А. И. Пыжев, Е. А. Сырцова, Е. В. Зандер. – Текст : непосредственный // Журнал Сибирского федерального университета. Серия : Гуманитарные науки. – 2022. – Т. 15, № 12. – С. 1841-1853.
2. Малахова Е. Г. Распространение и структура очагов усыхания еловых лесов Подмосковья в 2010-2012 годах / Е. Г. Малахова, Н. И. Лямцев. – Текст : непосредственный // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2014. – № 207. – С. 193-201.
3. Миртова, И. А. Использование спутниковых данных для оценки повреждения лесов короедом-типографом на примере Московской области / И. А. Миртова, Д. В. Ершов, Д. А. Мягкова. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 77-82.
4. Гниненко, Ю. И. Возможности использования космических снимков для слежения за очагами союзного короеда / Ю. И. Гниненко, В. А. Иванов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2022. – № 62. – С. 137-142.
5. Кархова, С. А. Оценка лесопатологического состояния кедровых лесов Иркутской области / С. А. Кархова, Е. Б. Никитенко. – Текст : непосредственный // Известия Байкальского государственного университета. – 2023. – Т. 33, № 2. – С. 380-393.
6. Колтунов, Е. В. Спектральный анализ многолетней динамики вспышек массового размножения непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.) на Урале / Е. В. Колтунов, Л. Н. Ермаков. – Текст : непосредственный // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. – С. 399.
7. Маслов, А. Д. Размножение стволовых вредителей ели в очагах корневых гнилей / А. Д. Маслов. – Текст : непосредственный // Защита леса от вредителей и болезней: сборник трудов ВНИИЛМ. Москва : Лесная промышленность. – 1973. – С. 84–10.
8. Колганихина, Г. Б. К изучению проблемы усыхания вязов в Москве и Подмосковье / Г. Б. Колганихина, В. В. Синькевич. – Текст : непосредственный // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2021. – № 3. – С. 67-85.
9. Оценка роли насекомых и дендропатогенных организмов в усыхании древостоев Ленинградской области и Республики Татарстан / А. В. Селиховкин, Р. В. Глебов, Н. Г. Магдеев [и др.]. – Текст : непосредственный // Лесоведение. – 2016. – № 2. – С. 83–95.
10. Сингатуллин, И. К. Состояние осинников Республики Татарстан после засухи 2010 года / И. К. Сингатуллин. – Текст : непосредственный // Вестник Казанского ГАУ. – 2016. – № 3 (41). – С. 40–45.
11. Влияние климатических изменений на распространение бактериальной водянки березы / Е. А. Богдан, Р. Г. Камалова, Л. Н. Белан, И. О. Туктарова. – Текст : непосредственный // Географический вестник. – 2024. – № 1(68). – С. 151-165.
12. Бондаренко-Борисова, И. В. Бактериальная водянка – опасное заболевание березы в Донском регионе / И. В. Бондаренко-Борисова. – Текст : непосредственный // Промышленная ботаника. – 2020. – Вып. 20. – № 2. – С. 62-65.
13. Алексеев, А. С. Выявление ранних стадий повреждения еловых древостоев короедом-типографом на основе совмещенного анализа материалов спутниковой съемки Sentinel-2b и наземных обследований / А. С. Алексеев, Д. М. Черниковский. – Текст : непосредственный // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2023. – № 246. – С. 22-43.
14. Долгачева, Л. Е. Оценка повреждений лесных насаждений Горно-Кольванского лесничества Алтайского края полиграфом уссурийским с применением данных дистанционного зондирования /

Л. Е. Долгачева, И. Н. Ротанова. – Текст : непосредственный // Успехи современного естествознания. – 2023. – № 7. – С. 21-26.

15. Санников, И. Ю. Выявление и анализ сухостоя при помощи беспилотного летательного аппарата / И. Ю. Санников, Д. Н. Андреев, С. А. Бузмаков. – Текст : непосредственный // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т. 15, № 3. – С. 103-113. – DOI 10.21046/2070-7401-2018-15-3-103-113.

16. Иванова, Н. В. Определение характеристик смешанных древостоев по данным аэрофото-съёмки с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) / Н. В. Иванова, М. П. Шашков, В. Н. Шанин // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2021. – № 54. – С. 158-175. – DOI 10.17223/19988591/54/8.

17. Detection of Norway spruce trees (*Picea Abies*) infested by bark beetle in UAV images using YOLOs architectures / A. Safonova, Y. Hamad, A. Alekhina, D. Kaplun // IEEE Access. – 2022. – № . 10. – P. 10384-10392. – DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3144433.

18. Detection of fir trees (*Abies sibirica*) damaged by the bark beetle in unmanned aerial vehicle images with deep learning / A. Safonova, S. Tabik, D. Alcaraz-Segura [et al.] // Remote Sensing. – 2019. – Vol. 11, № . 6. – P. 643. – DOI: 10.3390/rs11060643

19. Individual tree crown delineation for the species classification and assessment of vital status of forest stands from UAV images / A. Safonova, Y. Hamad, E. Dmitriev [et al.] // Drones. 2021. – Vol. 5, № . 3. – P. 77. – DOI: 10.3390/drones5030077

## References

1. Pyzhev AI, Syrtova EA, Zander EV. Forest resources of Asian Russia: wealth or scarcity? Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences, 2022;15 (12):1841-1853. In Russia

2. Malakhova EG, Lyamtsev NI. Extent and structure of Moscow region spruce forest dieback in 2010-2012. Proceedings of the St. Petersburg Forestry Engineering Academy, 2014;207:193-201. In Russia

3. Mirtova IA, Ershov DV. The use of satellite data to assess damage to forests by bark beetles on the example of the Moscow region. News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography, 2013;6: 7-82. In Russia

4. Gninenko YuI, Ivanov VA. The possibilities of using satellite images to track the foci of the Allied bark beetle. Actual problems of the forest complex, 2022;62:137-142. In Russia

5. Karkhova SA, Nikitenko EB. Assessment of the forest-pathological condition of cedar forests of Irkutsk region. Bulletin of Baikal state university, 2023;33(2):80-393. In Russia

6. Koltunov EV, Erdakov LN. Spectral analysis of the long-term dynamics of outbreaks of mass reproduction of the unpaired silkworm (*Lymantria dispar* L.) in the Urals. Modern problems of science and education, 2013;2:399. In Russia

7. Maslov AD. Reproduction of spruce stem pests in foci of root rot. Forest protection from pests and diseases: proceedings of VNIILM. Moscow: Forest Industry, 1973:84–10. In Russia

8. Kolganikhina GB, Sinkevich VV. To the study of the problem of drying of elms in Moscow and the Moscow region. Proceedings of the Saint Petersburg forestry research institute, 2021;3:67-85. In Russia

9. Selikhovkin AV, Glebov RV, Magdeev NG, et al. Assessment of the role of insects and dendropathogenic organisms in the drying of stands of the Leningrad region and the Republic of Tatarstan. Forestry, 2016.;2:83-95. In Russia

10. Singatullin IK. The state of the aspen trees of the Republic of Tatarstan after the drought of 2010. Bulletin of the Kazan State Agrarian University, 2016;3(41):40-45. In Russia

11. Bogdan EA, Kamalova RG, Belan LN, Tuktarova IO. The influence of climatic changes on the spread of bacterial dropsy of birch. Geographical Bulletin, 2024;1(68):151-165. In Russia

12. Bondarenko-Borisova IV. Bacterial dropsy – a dangerous disease of birch in the Donetsk region. Industrial Botany, 2020;20(2):62-65. In Russia

13. Alekseev AS, Chernikhovskiy DM. Identification of the early stages of damage to spruce stands by bark beetles based on a combined analysis of Sentinel-2b satellite imagery and ground surveys. Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute, 2023;246:22-43. In Russia

14. Dolgacheva LE, Rotanova IN. Assessment of damage to forest plantations of the Gorno-Kolyvan forestry of the Altai territory by the polygraphus proximus blandford using remote sensing data. Advances in current natural sciences, 2023;7:21-26. In Russia

15. Sannikov IYu, Andreev DN, Buzmakov SA. Identification and analysis of deadwood using an unmanned aerial vehicle. Cosmic Research, 2018;15(3):103-113. In Russia

16. Ivanova NV, Shashkov MP, Shanin VN. Obtaining tree stand attributes from unmanned aerial vehicle (UAV) data: the case of mixed forests. Tomsk State University Journal of Biology, 2021,54:158-175. In Russia

17. Safonova A, Hamad Y, Alekhina A, Kaplun D. Detection of Norway spruce trees (Picea Abies) infested by bark beetle in UAV images using YOLOs architectures. IEEE Access, 2022,10:10384-10392.

18. Safonova A, Tabik S, Alcaraz-Segura D [et al.] Detection of fir trees (Abies sibirica) damaged by the bark beetle in unmanned aerial vehicle images with deep learning. Remote Sensing, 2019,11(6):643.

19. Safonova A., Hamad Y., Dmitriev E. [et al.] Individual tree crown delineation for the species classification and assessment of vital status of forest stands from UAV images. Drones, 2021,5(3):77.

#### Сведения об авторах

*ШАГАЛИЕВ Руслан Данифович* – к.т.н., нач. межвузовской лаборатории климата и мониторинга углеродного следа, Уфимский государственный нефтяной технический университет». E-mail: shagaliev@rambler.ru

*SHAGALIEV Ruslan D.* – Candidate of Technical Sciences, head of the Interuniversity Laboratory of Climate and Carbon Footprint Monitoring, Ufa State Petroleum Technological University

*БОГДАН Екатерина Александровна* – к.э.н., в.н.с., Уфимский государственный нефтяной технический университет». E-mail: eavolkova@bk.ru

*BOGDAN Ekaterina A.* – Candidate of Economic Sciences, Leading Researcher, Ufa State Petroleum Technological University

*ГАЛЯМОВ Айрат Фаритович* – к.т.н., доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет. E-mail: galyamov.airat@gmail.com

*GALYAMOV Airat F.* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University

*БЕЛАН Лариса Николаевна* – д.г.-м.н., дир. Центра технологий декарбонизации, Уфимский государственный нефтяной технический университет; проф. Уфимский университет науки и технологии. E-mail: belan77767@mail.ru

*BELAN Larisa N.* – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Director of the Center for Decarbonization Technologies, Ufa State Petroleum Technological University

*ИШКИНИНА Олеся Ивановна* – к.х.н., доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет. E-mail: olesya-ioh@mail.ru

*ISHKININA Olesya I.* – Candidate of Chemical Sciences, Associate professor, Ufa State Petroleum Technological University, e-mail: olesya-ioh@mail.ru

*ВАЛИЕВ Газиз Галимович* – инженер-лаборант, Уфимский государственный нефтяной технический университет, доцент. E-mail: gaziz.valiev@yandex.ru

*VALIEV Gaziz G.* – laboratory engineer, Ufa State Petroleum Technological University

**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**

**№ 4(36) 2024**

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

Подписано в печать 18.12.2024. Формат 70x108/16.  
Дата выхода в свет 18.12.2024.