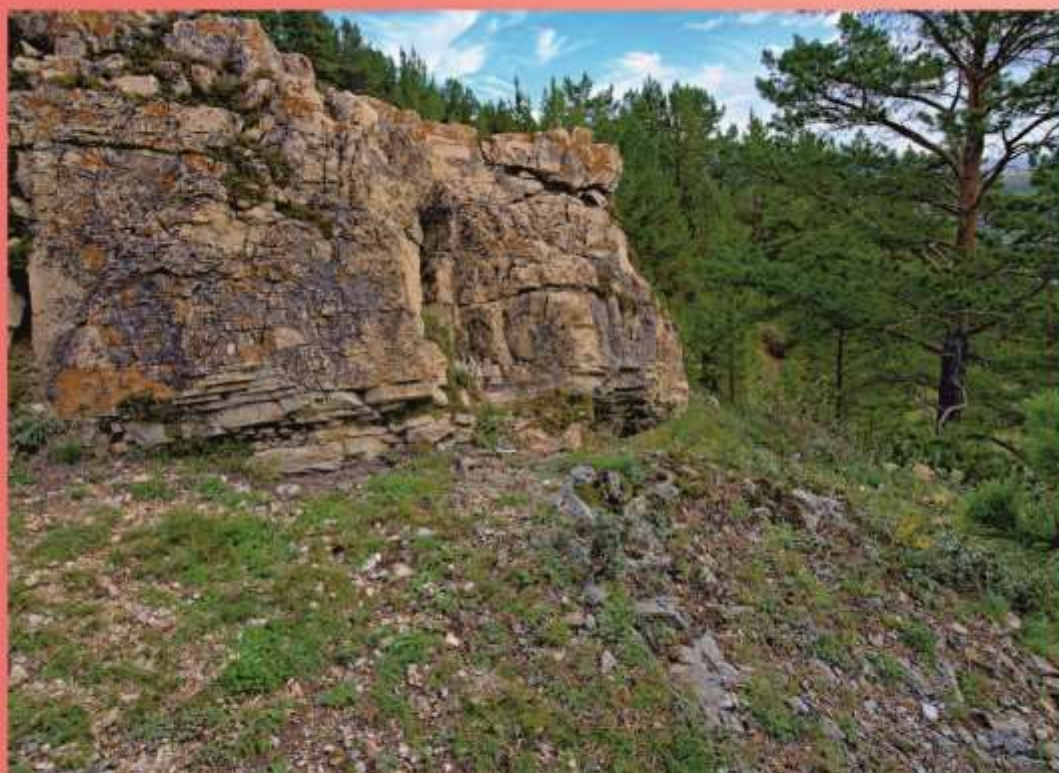


6 (1) 2026

ISSN 2541-9641



# ГЕОЛОГИЯ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА



ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Геология и  
окружающая  
среда

Том 6  
№ 1  
2026

Geology and  
Environment

Преемник Вестника кафедры географии Восточно-Сибирской государственной академии образования

Год основания 2010 г.

Научный электронный журнал

Выходит четыре раза в год

**Главный редактор:** Примина С.П., канд. геол.-минерал. наук, доцент  
Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

**Заместители главного редактора:** Рассказов С.В., доктор геол.-минерал. наук, профессор  
Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия; Сасим С.А., канд. геол.-минерал.  
наук, Иркутский государственный университет, доцент, Иркутск, Россия

**Ответственный секретарь:** Коваленко С.Н., канд. геол.-минерал. наук, Иркутский  
государственный университет, Иркутск, Россия

**Редакционная коллегия:** Акулова В.В., – кандидат геол.-минерал. наук, Институт земной коры СО  
РАН, Иркутск, Россия; Баженова О.И. – доктор геогр. наук, профессор, Институт географии СО РАН,  
Иркутск, Россия; Бат Б. – доктор философии, профессор, Национальный университет Монголии,  
Улан-Батор, Монголия; Борняков С.А. – канд. геол.-минерал. наук, Институт земной коры СО РАН,  
Иркутск, Россия; Горячев Н.А. – член-корр. РАН, доктор геол.-минерал. наук, профессор, Северо-  
Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Магадан, Россия;  
Давыденко А.Ю. – доктор физ.-мат. наук, профессор, Иркутский государственный университет,  
Иркутск, Россия; Канева Е.В. – доктор геол.-минерал. наук, Институт геохимии им. А.П.  
Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия; Кононов Е.Е. – кандидат геол.-минерал. наук, доцент,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия;  
Корольков А.Т. – доктор геол.-минерал. наук, доцент, Иркутский государственный университет,  
Иркутск, Россия; Никишин А.М. – доктор геол.-минерал. наук, профессор, геологический факультет  
МГУ, Москва, Россия; Перепелов А.Б. – доктор геол.-минерал. наук, Институт геохимии им. А.П.  
Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия; Полетаева В.И. – доктор геол.-минерал. наук, Институт  
геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия; Саньков В.А. – кандидат геол.-минерал.  
наук, доцент, Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия; Тверитинова Т.Ю. –  
кандидат геол.-минерал. наук, МГУ; Чувашова И.С. – кандидат геол.-минерал. наук, Институт  
земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

#### Адрес редакции:

664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1

Тел.: (3952)243278

Email: kaf-dinamgeol@mail.ru

Сайт: <http://geoenvir.ru>

Сетевое издание «Геология и окружающая среда»

PDF-номер журнала выходит четыре раза в год. Сроки приема статей в:

№ 1 до 1 марта, № 2 до 1 июня, № 3 до 1 сентября, № 4 до 1 декабря

Сроки выхода номеров: № 1 – 31 марта, № 2 – 30 июня, № 3 – 30 сентября,

№ 4 – 31 декабря

Учредитель-издатель: ФГБОУВО «Иркутский государственный университет»

Гл. редактор: С.П. Примина

Регистрирующий орган: Федеральная служба по надзору в сфере

связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Регистрационный номер: ЭЛ № ФС 77-82002, от 24.09.2021

ISSN: 2541-9641

12+

В журнале публикуются материалы научно-образовательного направления, отражающие теоретические, методические и практические результаты научной деятельности молодых ученых, преподавателей, аспирантов, магистров и бакалавров; помещаются рецензии и отзывы на монографии, учебники, материалы конференций, тематические обзоры и дается информация о событиях научной и учебной жизни по профилю издания.

**На первой странице обложки.** Обнажение контакта осадочного чехла Сибирской платформы, представленного темно-серыми доломитами и темно-серыми аргиллитами в основании, с фундаментом, сложенным раннепротерозойскими гранитами-рапакиви гранитной формации приморского комплекса. Из статьи С.Н. Коваленко Уникальные геологические объекты полевой учебной практики по геокартированию на Байкале: местоположение и наиболее характерные точки наблюдения

## СОДЕРЖАНИЕ

От редколлегии журнала.....	5
РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ.....	7
<u>С.В. Рассказов</u> Контрастные литологические переходы от водно-ледниковых отложений плейстоцена к полигенетическим отложениям голоцена на берегу Балтики и в Южно-Байкальской впадине .....	7
ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА .....	32
<u>А.И. Лихачев, Б.Ж. Батожаргалов, А.Л. Базаров, Д.А. Дамбаев, Л.А. Иванова, С.П. Примина, А.Ф. Летникова, С.В. Снопков</u> Результаты исследовательской работы обучающихся магистратуры геологического факультета Иркутского государственного университета... 32	
МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ .....	56
<u>С.В. Рассказов, И.А. Асламов, С.В. Снопков, Е.П. Чебыкин, А.М. Ильясова, И.С. Чувашова</u> От контроля слабых землетрясений в Байкальской рифтовой системе магнитными бурями к сейсмическим импульсам Японско-Байкальского геодинамического коридора: мониторинг ОВП подземных вод в реальном времени начала 2026 г. ....	56
ВУЛКАНИЗМ, НОВЕЙШАЯ ГЕОДИНАМИКА .....	91
<u>С.В. Рассказов, И.С. Чувашова, Т.А. Ясныгина, К.А. Виницина, Б.Б. Будаев, О.Ж. Цыренов, А.П. Замбалов, В.Ю. Кононов, Р.В. Антипин</u> Изменения позднекайнозойской вулканической активности и вариации состава вулканических пород вкострости простираения центральной части Тункинской долины Байкальской рифтовой системы .....	91
<u>С.В. Рассказов</u> Глобальная и региональная (сибирская) переработка литосферы 2.7 млрд лет назад: изотопные данные .....	115
УЧЕНЫЕ-ПЕРВОПРОХОДЦЫ.....	126
<u>Т.Ю. Тверитинова, А.И. Гущин</u> У истоков учения о рифтогенезе (письма Е.Е. Милановского из Исландии 1972–73 гг.).....	126
ОБЗОРЫ И РЕЦЕНЗИИ.....	156
<u>С.В. Снопков, И.А. Богданова</u> Слюдяной промысел в Прибайкалье в XVII–XIX веках .....	156
ЭКСПЕДИЦИИ .....	166
<u>С.В. Рассказов, С.Н. Коваленко, С.В. Снопков, Бо Чжан, Цзиньсянь Яо, Минь Тан</u> Первая полевая геологическая практика студентов Пекинского университета в Прибайкалье: Кайнозойский рифтогенез в длительно эволюционировавшей литосфере .....	166
КОНФЕРЕНЦИИ.....	189
<u>С.В. Снопков, И.А. Богданова</u> Результаты ежегодной научной конференции студентов и молодых ученых по наукам о Земле геологического факультета .....	189
НАУЧНАЯ, ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ, УЧЕБНАЯ И ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА. 195	
<u>С.Н. Коваленко</u> Уникальные геологические объекты полевой учебной практики по геокартированию на Байкале: местоположение и наиболее характерные точки наблюдения .....	195
Правила для авторов .....	217

© ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»

© Геология и окружающая среда, 2026, Т. 6, № 1

## C O N T E N T S

From the editorial board of the journal .....	5
REGIONAL GEOLOGY .....	7
<u>S.V. Rasskazov</u> Contrasting Lithological Transitions from Pleistocene Fluvioglacial to Holocene Polygenetic Sediments on the Baltic Coast and in the South Baikal Basin .....	7
GEOLOGY OF OIL AND GAS .....	32
<u>A.I. Likhachev, B.Zh. Batozhargalov, A.L. Bazarov, D.A. Dambaev, L.A. Ivanova, S.P. Primina, A.F. Letnikova, S.V. Snopkov</u> Results of Research Work of Master's Students of the Faculty of Geology of Irkutsk State University.....	32
MONITORING OF NATURAL PROCESSES .....	56
<u>S.V. Rasskazov, I.A. Aslamov, S.V. Snopkov, E.P. Chebykin, A.M. Ilyasova, I.S. Chuvashova</u> From Magnetic Storm Control of Weak Earthquakes in the Baikal Rift System to Dominant Seismic Pulses of the Japan-Baikal Geodynamic Corridor: Real-Time Monitoring of Groundwater Oxidation-Reduction Potential in Early 2026 .....	56
VOLCANISM, MODERN GEODYNAMICS .....	91
<u>S.V. Rasskazov, I.S. Chuvashova, T.A. Yasnygina, K.A. Vinitsina, B.B. Budaev, O.Zh. Tsyrenov, A.P. Zambalov, V.Y. Kononov, R.V. Antipin</u> Changes in Late Cenozoic Volcanic Activities and Rock Composition Variations across the Central Tunka Valley of the Baikal Rift System .....	92
<u>S.V. Rasskazov</u> Global and Regional (Siberian) Processing of the Lithosphere 2.7 Byr ago: Isotopic Evidence .....	115
PIONEERING SCIENTISTS.....	126
<u>Tveritina, A.I. Gushchin</u> At the Origins of Rifting Theory (Letters of E.E. Milanovsky from Iceland, 1972–73).....	126
REVIEWS & REVIEWS .....	156
<u>S.V. Snopkov, I.A. Bogdanova</u> Mica Mining in the Baikal Region in the 17th–19th Centuries .....	156
EXPEDITIONS.....	166
<u>S.V. Rasskazov, S.N. Kovalenko, S.V. Snopkov, Bo Zhang, Jinxian Yao, Min Tang</u> The First Geological Field Training of Students from Peking University in the Baikal Area: Cenozoic Rifting in a Long-Evolved Lithosphere.....	166
CONFERENCES .....	189
<u>S.V. Snopkov, I.A. Bogdanova</u> Results of the Annual Scientific Conference of Students and Young Scientists on Earth Sciences of the Geological Faculty.....	189
SCIENTIFIC, PROFESSIONAL, EDUCATIONAL AND PEDAGOGICAL PRACTICE.....	195
<u>S.N. Kovalenko</u> Unique Geological Objects of Field Practice in Geomapping on Lake Baikal: Location and the Most Characteristic Observation Points .....	195
Guidelines for Authors .....	217

© Irkutsk State University

© Geology and Environment, 2026, Vol. 6, No. 1

## От редколлегии журнала

В современные университетские образовательные стандарты в качестве важнейшей составляющей учебного процесса включены научные исследования с участием студентов. Чтобы квалификационные бакалаврские и магистерские исследования содержали новые факты и гипотезы, проводится научно-исследовательская практика, организуются молодежные конференции. Работы, выполненные со студенческим азартом, часто представляют интерес для всей геологической науки, но, к сожалению, так и остаются в забвении. Бумажная версия квалификационной бакалаврской и магистерской работы хранится на выпускающей кафедре 5 лет после окончания вуза студентом. Рационально все же закреплять основные достижения и выводы до выхода на защиту квалификационной работы в публикациях, уровень которых должен служить критерием для оценки квалификационной работы рецензентом и аттестационной комиссией.

Публикации студенческих и аспирантских работ в материалах специальных молодежных конференций и школ в России имеют приниженный статус и фактически не решают проблемы подготовки квалификационных работ. Пробиться с самостоятельной публикацией в журнал студенту не реально. Необходимо инициировать и поддерживать взаимодействие между преподавателями и студентами для выявления среди них способных к науке, для развития и закрепления понятий и подходов в организации и проведении научных исследований. Не секрет, что наука в России постарела. На научных конференциях часто присутствуют только пожилые научные работники и преподаватели. Система образования, развитая в западных университетах, позволяет организовывать форумы, в которых участвуют преимущественно аспиранты и студенты бакалаврской, магистерской подготовки. Генеральная ассамблея Европейского союза геологических наук (EGU) ежегодно собирает в Вене около 10-11 тыс. докладов, большинство из которых произносится молодыми людьми, начинающими свой путь в науке.

Издание журнала Геология и окружающая среда – эффективная форма создания условия для повышения качества подготовки специалистов высшей школы. Основное требование для опубликования научной статьи в журнале – авторство или соавторство студента, аспиранта или молодого научного сотрудника. В журнале публикуются материалы научно-образовательного направления, отражающие теоретические, практические результаты и методические разработки молодых геологов и географов – научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, студентов магистерской и бакалаврской подготовки. Наряду с исследовательскими статьями, вводится раздел «События».

Исследования геологии и окружающей среды рассматриваются в настоящее время как приоритетные. В университетах разных стран созданы факультеты, имеющие конкретную тематическую направленность на изучение геологии окружающей среды. Издаются международные журналы *Environmental Earth Sciences* (Университет Питсбурга, штат Пенсильвания, США) и *Geology, Geophysics and Environment* (AGH Научно-технический университет им. Станислава Сташица, Краков, Польша). Журнал Геология и окружающая среда (*Geology and Environment*) ориентирован, прежде всего, на освещение вопросов, касающихся этой тематики в Байкало-Монгольском регионе и в сопредельных районах Азии.

Геологический факультет Иркутского госуниверситета как базовый для издания журнала Геология и окружающая среда многие годы проводит учебные, производные и научно-исследовательские практики в южной части Сибирской платформы и в сопредельном Хамардабанском террейне, который был аккрегирован к краю платформы в раннем палеозое. Студентам демонстрируются разновозрастные комплексы осадочных, магматических и метаморфических пород от раннеархейского до позднекайнозойского возраста, породы Слюдянского метаморфического субтеррейна, содержащего множество уникальных минералов, карьеры и шахты месторождений угля и соли, молодые вулканы и минеральные источники. Непосредственно на обнажениях освещаются вопросы новейшей геодинамики и тектоники Байкальской рифтовой системы, в которой ярко проявился процесс континентального рифтогенеза, частично в сочетании с орогенезом. Демонстрируются сейсмодислокации, оставшиеся после

сильных землетрясений. Проводится серия маршрутов по выходам венд-кембрийских пород, служащих в качестве вмещающей среды для газоконденсатных месторождений Сибирской платформы. Организуются наблюдения выходов нефти и газа из позднекайнозойского осадочного наполнения Южно-Байкальской рифтовой впадины. Многогранный природный учебный полигон Прибайкалья создает все необходимые условия для наглядного преподавания геологических дисциплин в сочетании с развитием студенческих и аспирантских исследований геологии и окружающей среды.

В рамках решения задач опубликования материалов квалификационных исследований, связанных с изданием журнала Геология и окружающая среда, редколлегия приглашает к сотрудничеству профессоров и преподавателей из университетов Байкало-Монгольского региона и из других российских и зарубежных организаций. В качестве одного из учредителей журнала выступает Китайско-Российский исследовательский центр Удаляньчи–Байкал по новейшему вулканизму и окружающей среде (сайт: <http://www.crust.irk.ru/crc/>). Издание осуществляется на русском языке.

### **Разделы журнала**

#### Разделы SECTIONS

#### ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СТАТЕЙ

1. Региональная геология REGIONAL GEOLOGY
2. Геология нефти и газа OIL AND GAS GEOLOGY
3. Полезные ископаемые MINERAL RESOURCES
4. Гидрогеология, инженерная геология HYDROGEOLOGY, ENGINEERING GEOLOGY
5. Мониторинг природных процессов NATURAL PROCESS MONITORING
6. Минералогия, петрология MINERALOGY, PETROLOGY
7. Вулканизм, новейшая геодинамика VOLCANISM, RECENT GEODYNAMICS или VOLCANISM, the LATEST GEODYNAMICS
8. Неотектоника, геоморфология NEOTECTONICS, GEOMORPHOLOGY
9. Физическая и экономическая география PHYSICAL AND ECONOMIC GEOGRAPHY
10. Ученые-первопроходцы PIONEERING SCIENTISTS

#### ТЕМАТИКА СОБЫТИЙНЫХ СТАТЕЙ

11. Обзоры и рецензии HISTORICAL OVERVIEWS
12. Экспедиции EXPEDITIONS
13. Конференции CONFERENCES
14. Научная, профессиональная, учебная и педагогическая практика SCIENTIFIC, PROFESSIONAL, EDUCATIONAL AND PEDAGOGICAL PRACTICE

**РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ**

УДК 552.5:552.3(571.5)

<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2026.1.7>

EDN: NGEJIS

**1. Контрастные литологические переходы от водно-ледниковых отложений плейстоцена к полигенетическим отложениям голоцена на берегу Балтики и в Южно-Байкальской впадине**С.В. Рассказов<sup>1,2</sup><sup>1</sup>*Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia*<sup>2</sup>*Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

**Аннотация.** Приводится характеристика разреза контрастных отложений плейстоцена и голоцена, обнаженных на балтийском берегу Куршской косы в Калининградской области России. В нижней (плейстоценовой) части разреза находятся водно-ледниковые зеленые «мусорные» карбонатно-глинистые алевриты. Выше залегают алевриты, пески и песчаники с линзами торфа. Разрез венчается дюнными песками. Смена водно-ледниковых отложений обломочными отложениями с линзами торфа коррелируется с начальным (раннеголоценовым, 11–8 тыс. кал. л.н.) этапом образования Балтийского моря после стаивания ледового покрова Фенноскандинавского щита и среднеголоценовым (8.0–5.7 тыс. кал. л.н.) термальным максимумом. Выход на слой кварцевого песка обозначает переход к относительному похолоданию позднего голоцена. В донных отложениях южной впадины оз. Байкал и его береговых обнажениях также имеются контрастные литологические переходы от водно-ледниковых слоев к слоям полигенетического голоценового осадочного комплекса. По сравнению с материалом осадочных пород оз. Байкал, Тункинской долины и Восточных Саян, осадочный материал плейстоцена и голоцена Куршской косы имеет меньшую степень выветривания (обогащен кварцем). Такое различие может отражать суровые условия нивального литогенеза, обеспечившие плейстоценовую мерзлотную подготовку пылеватого обломочного материала к голоценовому осадконакоплению на Балтике, и менее суровые условия на юге Сибири.

**Keywords:** *Балтийское море, озеро Байкал, плейстоцен, голоцен, оледенение, пост-ледниковье, осадочные отложения*

**Contrasting Lithological Transitions from Pleistocene Fluvioglacial to Holocene Polygenetic Sediments on the Baltic Coast and in the South Baikal Basin**S.V. Rasskazov<sup>1,2</sup><sup>1</sup>*Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia*<sup>2</sup>*Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

Статья получена: 25.03.2026; исправлена: 26.03.2026; принята: 27.03.2026.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Рассказов С.В. Контрастные литологические переходы от водно-ледниковых отложений плейстоцена к полигенетическим отложениям голоцена на берегу Балтики и в Южно-Байкальской впадине // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 1. С. 7–31. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.7. EDN: NGEJIS

Article received: 25.03.2026; corrected: 26.03.2026; accepted: 27.03.2026.

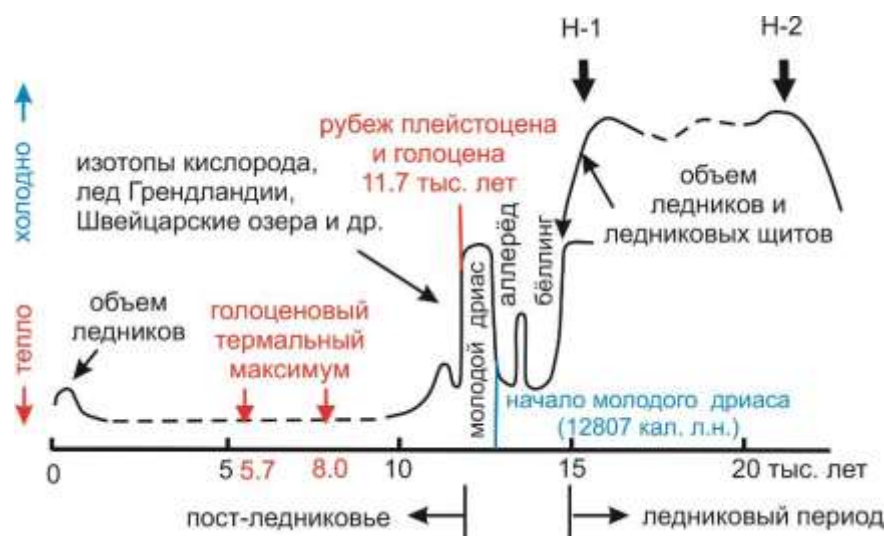
FOR CITATION: Rasskazov S.V. Contrasting lithological transitions from Pleistocene fluviglacial to Holocene polygenetic sediments on the Baltic Coast and in the South Baikal Basin // Geology and Environment. 2026. Vol. 6, No. 1. P. 7–31. DOI 10.26516/2541-9641.2026.6.1.7. EDN: NGEJIS

**Abstract.** A section of contrasting Pleistocene and Holocene sediments exposed on the Baltic coast of the Curonian Spit in the Kaliningrad region of Russia is described. The lower (Pleistocene) part of the section contains fluvio-glacial green "garbage" carbonate-clayey silts. Above lie silts, sands, and sandstones with peat lenses. The section is crowned by dune sands. The change from fluvio-glacial clays by clastic deposits with peat lenses correlates with the initial (Early Holocene, 11–8 ka cal. BP) stage of the Baltic Sea formation after the melting of the Fennoscandian Shield ice sheet and the Middle Holocene (8.0–5.7 ka cal. BP) thermal maximum. The quartz sand layer means the transition to the relative cooling of the late Holocene. The bottom sediments of southern Lake Baikal and its coastal outcrops also exhibit contrasting lithological transitions from fluvio-glacial layers to those of the poly-genetic Holocene sedimentary complex. Pleistocene and Holocene sedimentary material from the Curonian Spit has a lower degree of weathering (enriched with quartz) as compared to the one from Lake Baikal, the Tunka Valley, and Eastern Sayan Mountains. This difference may reflect the harsh conditions of nival lithogenesis, which ensured the Pleistocene permafrost preparation of detrital dusty material for Holocene sedimentation in the Baltic, and the less severe conditions in Southern Siberia.

**Keywords.** Baltic Sea, Lake Baikal, Pleistocene, Holocene, glaciation, post-glaciation, sediments

### Введение

Во временном интервале последних 20 тыс. лет происходили быстрые климатические изменения, обозначенные событиями тепла и холода в разных природных записях (рис. 1).



**Рис. 1.** События перехода от последнего ледникового периода к пост-ледниковью (межледниковью). Используются названия событий, выявленных в разрезах осадочных отложений Европы H-1 и H-2, первые Генриховские события, выраженные расширением разноса айсбергового материала в Северной Атлантике. Далее следуют теплые интервалы бёллинг и аллерёд (Bølling и Allerød) и холодный интервал молодой дриас (Younger Dryas). Рисунок из работы (McDuff, Heath, 2001) с уточнением интервалов бёллинг, аллерёд и молодой дриас (Borzenkova et al., 2015; van Geel, Sevink, 2025). Красными стрелками обозначается голоценовый термальный максимум 8.0–5.7 тыс. кал. л.н. (Новенко, 2020).

**Fig. 1.** Events marking the transition from the last glacial to the postglacial (interglacial). The names of events identified in the sedimentary sections of Europe H-1 and H-2, the first Heinrichian events, expressed by the expansion of iceberg material dispersal in the North Atlantic, are used. These are followed by the warm Bølling and Allerød intervals and the cold Younger Dryas one. The figure is from (McDuff and Heath, 2001) with correction of the Bølling, Allerød, and Younger Dryas intervals after (Borzenkova et al., 2015; van Geel and Sevink, 2025). The red arrows indicate the Holocene Thermal Maximum 8.0–5.7 thousand cal. years BP (Novenko, 2020).

Район Балтийского моря и Гренландии – территория стратотипов, выбранных для обозначения плейстоцен-голоценовой границы и более дробного деления голоцена. По

ледовым кернам Гренландии (GRIP, NGRIP и Dye-3) граница позднего дриаса–голоцена имеет возраст 11 653 ледниковых лет (Alley, 2000; Rasmussen et al., 2006; Walker et al., 2008, 2009, 2012, 2018). По ледовому керну NGRIP граница ратифицирована со значением возраста 11.7 тыс. лет (до 2000 г.) (Walker et al. 2008).

По результатам изучения пылицы, остатков насекомых и изотопным данным, полученных для континентальных отложений в районе Балтийского моря различаются три этапа климатической истории голоцена: 1) кратковременные холодные эпизоды, связанные с дегляциацией во время стабильного положительного температурного тренда (11–8 тыс. кал. л.н.); 2) теплый и стабильный климат с температурой воздуха на 1.0–3.5 °C выше современных значений (8.0–4.5 тыс. кал. л.н.) и 3) тенденция к снижению температуры с увеличением климатической нестабильности (последние 5.0–4.5 тыс. календарных лет). Предполагаемые причины изменения климата района Балтийского моря – таяние Фенноскандинавского ледового покрова и изменение в орбитальном вращении Земли (Vorzenkova et al., 2015). Подобные основные этапы голоцена намечаются в Центральной и Восточной Европе: 1) этап быстрого потепления ранних фаз голоцена (11.7–8.0 тыс. кал. л.н.), 2) этап голоценового термального максимума (8.0–5.7 тыс. кал. л.н.) и 3) этап направленного похолодания второй половины голоцена (5.7 тыс. кал. л.н. – настоящее время) (Новенко, 2020).

Озеро Байкал сопоставимо по размерам и глубине с Балтийским морем. Также как в районе Балтики, на юге Сибири имели место быстрые палеоклиматические изменения. При смене климата от холодного (плейстоценового) к теплomu (голоценовому) в Сибири, наряду с однородными песками, в плейстоцене и голоцене накапливались осадочные отложения контрастного состава (плейстоценовые глины и лессы, голоценовые комплексы с линзами и прослоями торфа). В связи с этим представляет особый интерес

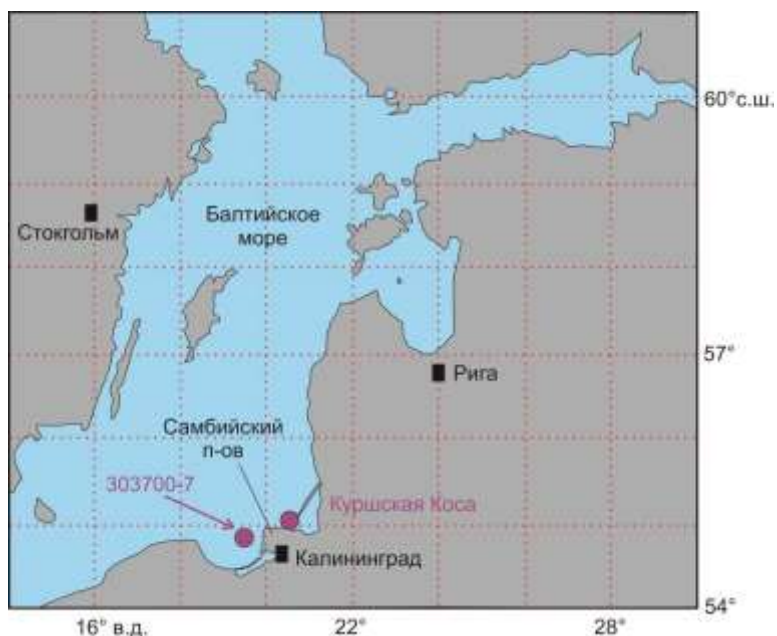
контрастные отложения плейстоцена и голоцена и на побережье Балтийского моря, которое образовалось в голоцене после таяния плейстоценового ледника мощностью 4 км.

Береговые обнажения Балтики наблюдались автором на Куршской косе в августе 2024 г. и в сентябре 2025 гг. В 2024 г. детали плейстоцен-голоценового перехода были хорошо экспонированы, но в 2025 г. прежние обнажения оказались существенно размытыми или перекрытыми песками береговых дюн. Море наступает, и в будущем существует вероятность полного размыва обнажений. Выполнена документация в значительной степени утраченного разреза берегового плейстоцен-голоценового литологического перехода. Между тем, этот разрез заслуживает особого внимания в связи с контрастной сменой состава обломочных отложений от полимиктового к олигомиктовому. Для литогеохимической характеристики пород определялись главные оксиды классическими химическими методами (Сизых, 1985).

Цель настоящей работы – охарактеризовать контрастный литологический переход от водно-ледниковых (плейстоценовых) отложений к пост-ледниковым (голоценовым) в разрезе Куршской косы в сопоставлении с разрезом донных отложений Балтики и прояснить значение контрастного плейстоцен-голоценового литологического перехода в отложениях дна и побережья Южного Байкала.

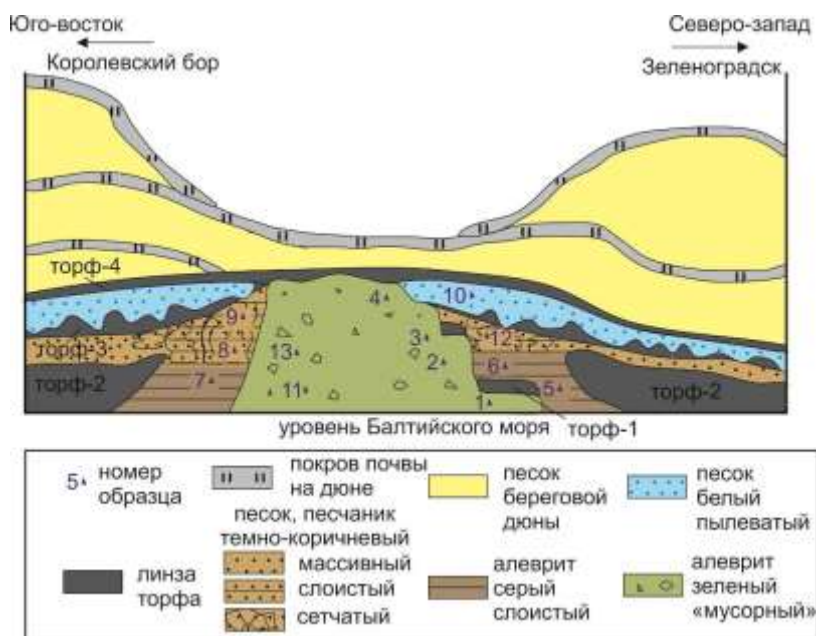
### ***Плейстоцен-голоценовый переход в береговом разрезе Балтики***

Плейстоцен-голоценовый переход реконструируется в береговом разрезе осадочных отложений начала Куршской косы. В основании разреза находится останец водно-ледникового «мусорного» алеврита. На поверхности размыва и по латерали останца залегают слои алевритов, песков и песчаников с линзами и прослоями торфа. Разрез венчают пески современных береговых дюн (рис. 2, 3).



**Рис. 2.** Местоположение обнажений литологического плейстоцен-голоценового перехода на берегу Балтийского моря, в начале Куршской косы (настоящая работа) и скважины 303700-7, вскрывающей осадочные отложения на дне Балтики северо-западнее Самбийского п-ова (Grigoriev et al., 2011).

**Fig. 2.** Location of outcrops of the lithological Pleistocene-Holocene transition on the coast of the Baltic Sea, at the beginning of the Curonian Spit (this work) and borehole 303700-7 that shows sedimentary deposits on the bottom of the Baltic northwest of the Sambian Peninsula (Grigoriev et al., 2011).



**Рис. 3.** Схематичный составной разрез последовательности осадочных отложений берега Балтики в начале Куршской косы. По вертикали видимая часть разреза не превышает 5 м, по горизонтали – прослеживается на 3–4 км.

**Fig. 3.** Schematic composite cross-section of the sedimentary sequence of the Baltic coast at the beginning of the Curonian Spit. The visible portion of the section that does not exceed 5 m vertically is traced horizontally for 3–4 km.

Останец зеленого «мусорного» алевита находится в центральной части профиля наблюдений. Видимая мощность пород составляет не более 2 м. Влажная порода имеет

преимущественно темно-зеленую окраску, местами приобретает голубой цвет. При высыхании становится серой. В слое находятся одиночные обломки пород различного состава размером до 6 см, сочетающиеся с многочисленными более мелкими обломками пород.

В толще, залегающей на неровной поверхности размыва «мусорного» алеврита, различаются четыре горизонта торфа, перемежающиеся с обломочными отложениями (рис. 4–7). Линза торфа-1 мощностью 15–20 см лежит на слое зеленого «мусорного» алеврита. Линзы торфа-2, торфа-3 и торфа-4 перемежаются, соответственно, со слоями алеврита, песка и песчаника и пылеватого песка. Наиболее мощные линзы торфа-2 (мощность, по крайней мере, первые метры) прослеживаются по латерали останца «мусорного» алеврита. Выходы таких линз находятся на пляже и уходят под уровень Балтийского моря. В торфяных линзах наблюдаются пни деревьев

и многочисленные включения растительного детрита.

Алеврит, залегающий на слое «мусорного» алеврита или торфа-1, имеет в обнажении серый, желтоватый, местами охристый цвет. При высыхании породы цвет сохраняется. Вблизи останца зеленого «мусорного» алеврита серый алеврит имеет горизонтальную (местами косую) слоистость, а в удалении от него приобретает массивное сложение (см. рис. 3). Местами серый алеврит постепенно обогащается органическим материалом и выше по разрезу сменяется линзой торфа-2.

Стратиграфически выше торфа-2 и ниже торфа-3 залегают пачка песка и песчаника среднезернистого сложения и темно-коричневого цвета. При высыхании породы цвет сохраняется. Породы имеют массивное сложение, переходящее в отчетливо выраженную слоистость и сетчатость.



**Рис. 4.** Общий вид обнажения зеленого «мусорного» алеврита в береговом обнажении Куршской косы (а) и фрагмент обнажения с остроугольными обломками пород фундамента (б). Здесь и далее в качестве объекта сравнения используется мандарин размером 5 см.

**Fig. 4.** General view of an outcrop of green "garbage" silt in a coastal outcrop of the Curonian Spit (а) and a fragment of the outcrop with sharp-angled fragments of basement rocks (б). From here on, a 5-cm tangerine is used as a comparison object.



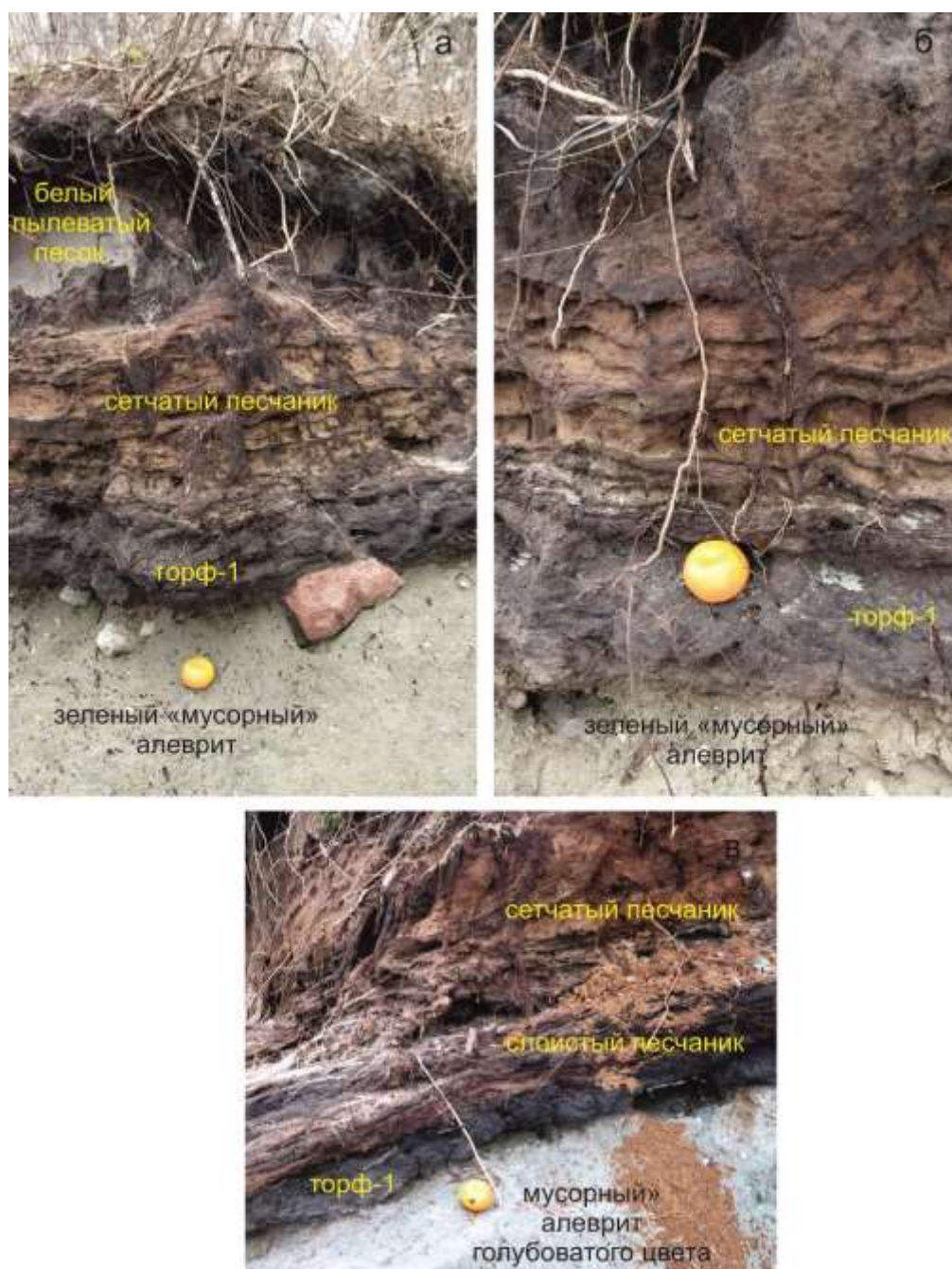
**Рис. 5.** Залегание слоя торфа, запечатлевшее морфоскульптуру расчлененной поверхности слоя зеленого «мусорного» алеврита. На размытую поверхность торфа-1 ложится слой белого пылеватого песка (см. рис. 3).

**Fig. 5.** The peat layer's bedding, depicting the morphosculpture of the dissected surface of a layer of green "garbage" silt. A layer of white, dusty sand lies on the eroded surface of peat-1 (Fig. 3).



**Рис. 6.** Залегание слоя торфа на поверхности размыва «мусорного» зеленого алеврита. Поверхность прослеживается вдоль пляжа приблизительно на одном уровне. Также как на фотографии 6, на поверхности размыва находится торф-1.

**Fig. 6.** Occurrence of a peat layer on the surface of an eroded green silt. The surface is traced along the beach at approximately the same level. As in photo 6, peat-1 is located on the eroded surface.



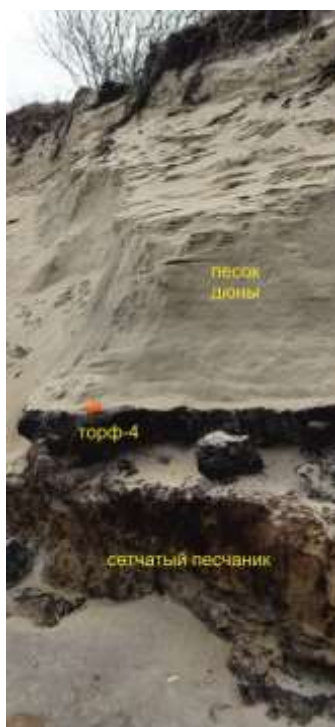
**Рис. 7.** Налегание на поверхность размыва зеленого и голубоватого «мусорного» алеврита торфа-1, перекрытого сетчатым крупнозернистым темно-коричневым песчаником (а, б), и такие же соотношения слоев с дополнительным прослоем полосчатого песчаника между торфом-1 и сетчатым песчаником (в).

**Fig. 7.** Overlying eroded surface of green and bluish “garbage” silt by peat-1, covered by a mesh-like coarse-grained dark-brown sandstone (a, б), and the same relationships of layers with an additional layer of banded sandstone between peat-1 and mesh-like sandstone (в).



**Рис. 8.** Переход снизу вверх по разрезу от слоя торфа-3 к волнисто-полосчатому песчанику (а) и переход от слоя массивного крупнозернистого песчаника через полосчатый песчаник к слою белого пылеватого песка (б). На фотографии б непосредственно на слое белого пылеватого песка лежит слой современной почвы.

**Fig. 8.** The transition from the peat layer-3 to the wavy-banded sandstone (a) and the transition from the massive coarse-grained sandstone layer through the banded sandstone to the white silty sand layer (b). In photograph b, a layer of modern soil lies directly on the white silty sand layer.



**Рис. 9.** Слой сетчатого песчаника, перекрытого смыкающимися слоями торфа-3 и торфа-4 без признаков прослоя белого пылеватого песка.

**Fig. 9.** A layer of mesh sandstone covered by adjoining layers of peat-3 and peat-4 without signs of a layer of white dusty sand.

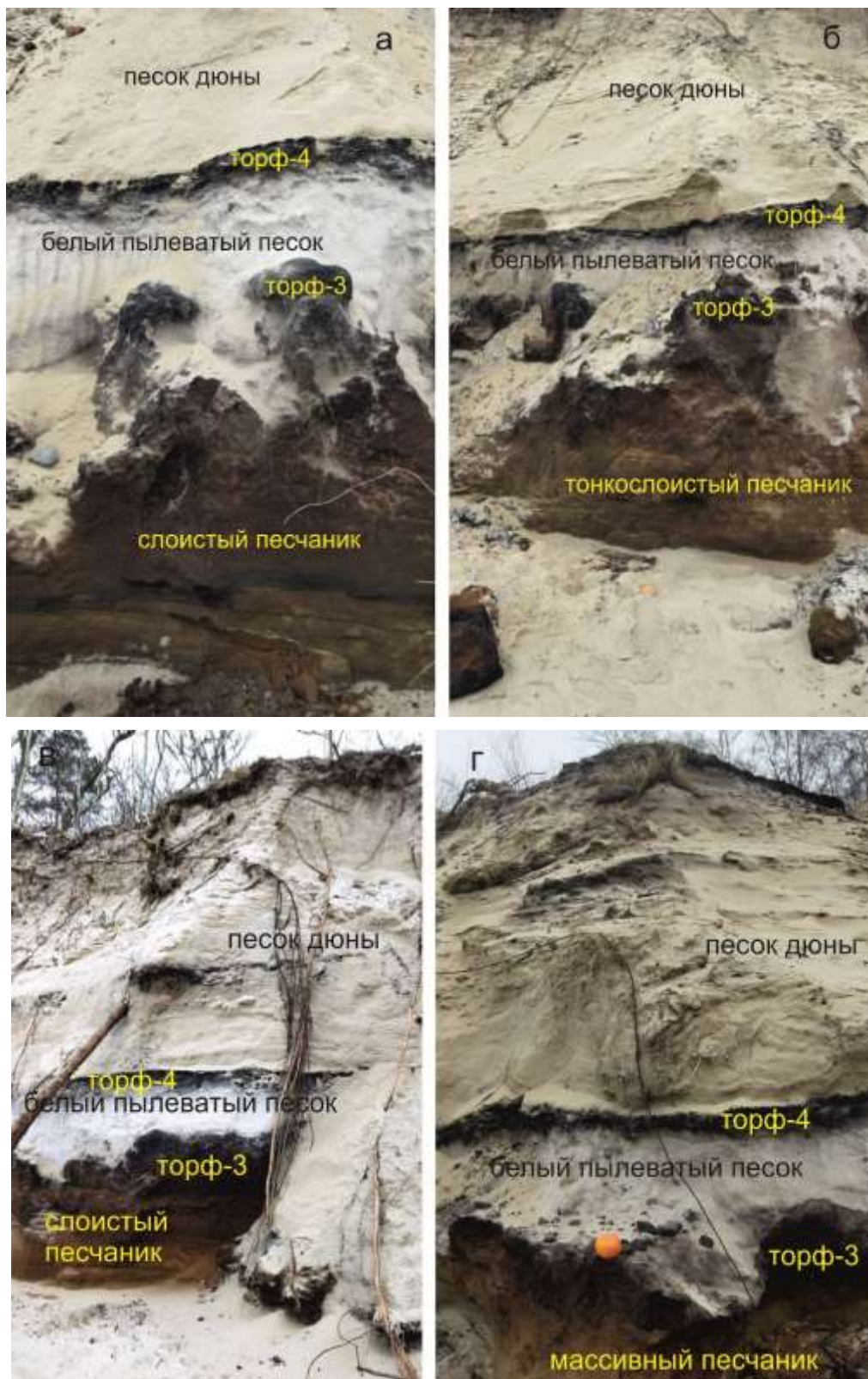
Слой белого пылеватого песка залегает выше торфа-3 и ниже торфа 4. Белый цвет имеет песок обнажения во влажном виде, при его высыхании проявляется светло-коричневая

окраска, подобная окраске песка дюн. Слой торфа-4 имеет выдержанную мощность 15–20 см (рис. 8). Торф-4 сопоставляется со слоями растительного детрита, распространенными в вышележащих отложениях дюн. Иногда слои торфа-3 и торфа-4 смыкаются между собой с выклиниванием белого песчаного слоя (рис. 9). Слой белого песка часто находится выше пачки темно-коричневого песчаника и песка, содержащего (или не содержащего) органический материал. В случае, если белый песок находится на слое торфа-3, между детритовым органическим материалом и белым песком образуется резкая граница с карманами, вдающимися в остаточный слой торфа-3 (рис. 10).



**Рис. 10.** Переход снизу вверх по разрезу от слоя слабослоистого (до массивного) крупнозернистого песчаника к слою торфа-2, почти полностью заполненному белым пылеватым песком (а) и переход от слоя массивного крупнозернистого песчаника к вышележащему слою белого пылеватого песка (б). На фотографии б непосредственно на слое белого пылеватого песка лежит слой современной почвы.

**Fig. 10.** The transition from the bottom to the top of the section from a layer of slightly stratified (to massive) coarse-grained sandstone to peat layer-2, almost completely filled with white silty sand (a) and the transition from the layer of massive coarse-grained sandstone to the overlying layer of white silty sand (b). In photograph b, a layer of modern soil lies directly on the layer of white silty sand.



**Рис. 11.** Неровная нижняя граница слоя белого пылеватого песка, перекрывающего слой торфа-3, который залегает на горизонтально-слоистом темно-коричневом песчанике (а-в) и на массивном песчанике такого же цвета (г).

**Fig. 11.** Uneven lower boundary of the layer of white dusty sand overlying the peat layer-3, which lies on horizontally layered dark brown sandstone (a–в) and on massive sandstone of the same color (г).

Финальный слой торфа-4 хорошо выдержан по всей протяженности берегового

разреза и служит в качестве маркирующего горизонта, подстилающего дюнные пески.

Пески береговых дюн ложатся на ровный слой торфа-4. Преобладают дюны однородного строения. Часть дюн обнаруживает слоистость, по которой определяются контуры последовательного ускоренного роста их центральных частей с уменьшением высоты на периферии (рис. 12а–в). Дюны имеют

высоту до 5 м. В обнажениях песка устанавливается от одного до трех почвенных прослоев временной стабилизации склонов дюн. Имеются случаи обнажения погребенных стоячих стволов деревьев, приуроченных к прослоям погребенной почвы (рис. 12г).



**Рис. 12.** Пески береговых дюн: слоистые в нижней части и однородные – в верхней (а, б), слоистые по всей мощности дюны (в) и слоистые двух последовательных дюн, разделенных прослоем почвы, на котором росло дерево (г).

**Fig. 12.** Sands of coastal dunes: layered in the lower part and homogeneous in the upper part (a, б), layered throughout the entire thickness of the dune (в), and layered of two successive dunes separated by a layer of soil, on which a tree grew (г).

**Литогеохимическая  
характеристика осадочных  
отложений**

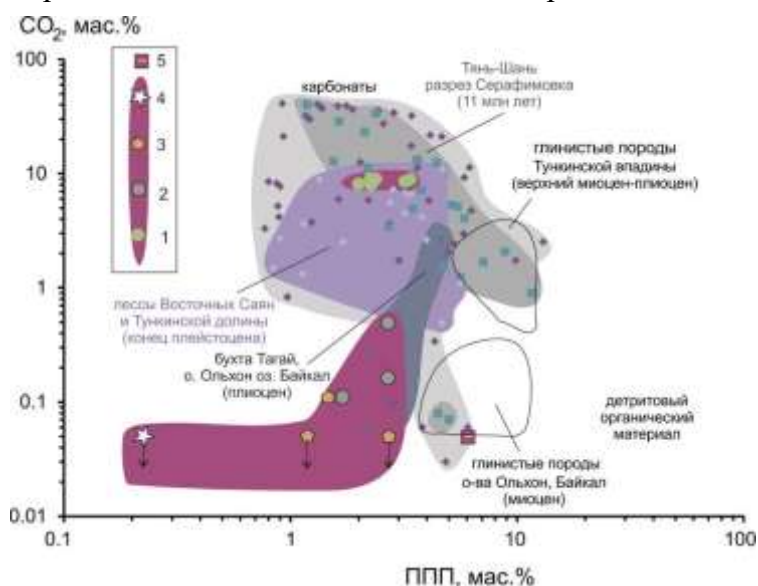
Наличие карбонатов в осадочных породах определяется по содержанию  $\text{CO}_2$ , а наличие

глинистых минералов – по содержанию кристаллизационной  $\text{H}_2\text{O}$ , выделяющейся при прокаливании пробы (ППП) при температуре  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  (влаги, удаляющейся при  $90\text{-градусной}$  сушке пробы не учитывается). В глинистых минералах содержится в среднем около

10 мас.% H<sub>2</sub>O. Более высокие значения ППП могут быть получены за счет сгорания детритового органического материала.

Глинистые породы верхнего миоцена-плиоцена Тункинской впадины и глинистые породы миоцена о-ва Ольхон различаются между собой по содержанию карбоната. Относительное снижение содержания карбоната в глинистых породах миоцена о-ва Ольхон дополняется данными о его отсутствии в донных отложениях оз. Байкал (Кашик, Ломоносова, 2006). Для тестирования диаграммы CO<sub>2</sub>–ППП на рис. 13 показаны составы осадочных пород Тянь-Шаня: мел-

палеогеновой красноцветной сулутерекской свиты и пестроцветных отложений начала верхнего миоцена из разреза Серафимовка. Сулутерекская свита перекрывает поверхность выравнивания, существовавшую до начала горообразовательных процессов, спровоцированных в Азии Индо-Азиатской коллизией. В этой свите выявляются разнообразные обломочные, глинистые и карбонатные отложения. Разрез Серафимовка характеризует осадконакопление в северной фронтальной части воздымающегося Тянь-Шаня. Здесь наблюдается ряд терригенных и карбонатных пород.



**Рис. 13.** Диаграмма CO<sub>2</sub>–ППП (потери при прокаливании) осадочных пород из разреза Куршской косы. 1–4 – породы снизу вверх по разрезу: 1 – зеленый «мусорный» карбонатно-глинистый алевролит; 2 – серый алевролит; 3 – темно-коричневый песок и песчаник; 4 – белый кварцевый песок. 5 – алевролит кремовый из разреза Светлогорска (север Самбийского п-ова). Значения CO<sub>2</sub> темно-коричневый песка и песчаник и белого кварцевого песка ниже предела обнаружения (ниже 0.06 мас.%). Составы лессов из работы (Рассказов и др., 2025). По осадочным породам Тянь-Шаня использованы неопубликованные данные автора, А.В. Миколайчука и И.С. Чувашовой, по осадочным породам о-ва Ольхон – неопубликованные данные автора, А. Клементьева и А. Сизова.

**Fig. 13.** CO<sub>2</sub>–LOI (loss on ignition) diagram of sedimentary rocks from the Curonian Spit section. 1–4 – rocks from bottom to top along the section: 1 – green “garbage” carbonate-clayey siltstone; 2 – gray siltstone; 3 – dark-brown sand and sandstone; 4 – white quartz sand. 5 – cream-colored siltstone from the Svetlogorsk section (northern Sambian Peninsula). CO<sub>2</sub> values for dark-brown sand and sandstone and white quartz sand are below the detection limit (below 0.06 wt.%). Loess compositions from (Raskazov et al., 2025). Used for sedimentary rocks from Tien Shan are unpublished data of the author, A.V. Mikolaichuk, and I.S. Chuvashova and for those from Olkhon Island, unpublished data of the author, A. Klementyev, and A. Sizov.

Зеленые «мусорные» алевролиты основания разреза Куршской косы имеют малые ППП (2.0–2.4 мас.%) (небольшую долю глинистых минералов) при повышенных содержаниях CO<sub>2</sub> (8.0–8.8 мас.%) и CaO (8.5–10.0 мас. %) (существенную долю карбоната). В серых

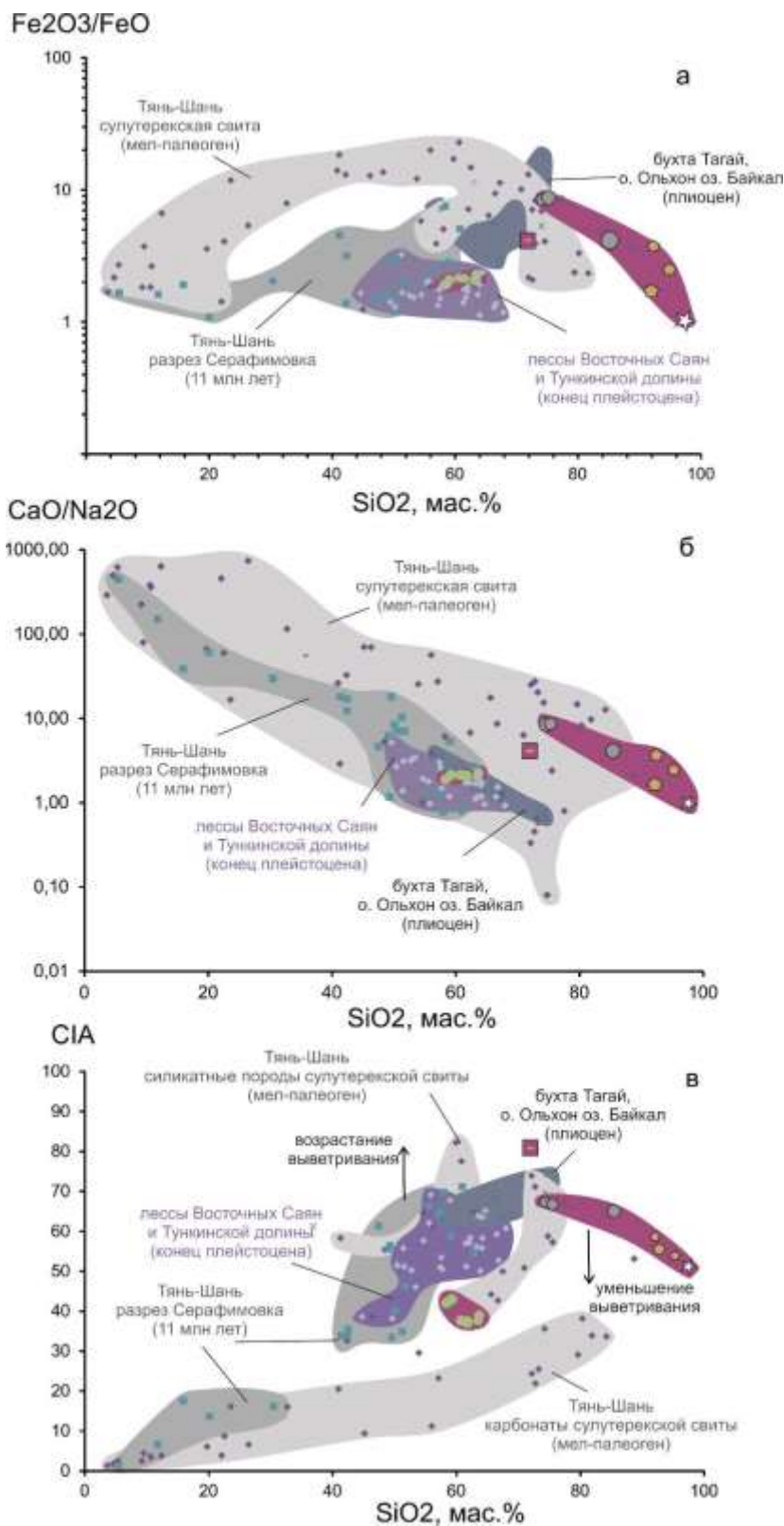
алевролитах, темно-коричневых песках и песчаниках определяются приблизительно такие же ППП (сохраняется такое же количество глинистых минералов), но резко падают содержания CO<sub>2</sub> и CaO, составляющие, соответственно, <0.5 и 0.15–0.95 мас.% (карбонат

не играет существенной роли). Низкое значение ППП в белом песке показывает отсутствие глинистых минералов. Значения  $\text{CO}_2$  ниже предела обнаружения (ниже 0.06 мас.%) в темно-коричневых песках и песчаниках, а также белых кварцевых песках свидетельствуют об отсутствии карбоната. Породы из разреза Куршской косы могут в целом различаться по условиям образования с породами разрезов Самбийского п-ова Балтийского моря. В кремевом алеврите, отобранном из толщи перемежающихся терригенных отложений и торфа в береговом разрезе г. Светлогорска, содержание  $\text{CO}_2$  ниже предела обнаружения сопровождается возрастанием ППП, что свидетельствует об увеличении в этих породах роли глинистых минералов.

По соотношению  $\text{CO}_2$ –ППП зеленые «мусорные» карбонатно-глинистые алевриты попадают в фигуративное поле лессов Восточных Саян и Тункинской долины, которые накапливались здесь в конце плейстоцена (Расказов и др., 2025). Такое сходство состава согласуется с предположением о плейстоценовом возрасте отложений основания разреза Куршской косы. Тренд серых алевритов – темно-коричневых песков и песчаников совпадает с трендом плиоценовых отложений о-ва Ольхон на оз. Байкал. Осадочные отложения Куршской косы образовались в условиях, сходных с условиями формирования плиоценовых осадочных отложений Среднего Байкала.

Особенности состава осадочных пород из разреза Куршской косы выявляются на диаграммах вариаций  $\text{Fe}_2\text{O}/\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$  и CIA (Chemical Index of Alteration) относительно  $\text{SiO}_2$  (рис. 14).

Широкий диапазон составов обломочных, глинистых и карбонатных пород мел-палеогеновой сулутерекской свиты выражается в вариациях  $\text{SiO}_2$  от первых мас.% в карбонатах до 84 мас.% в терригенно-глинистых породах. Породы сулутерекской свиты имеют красноватый облик из-за присутствия лимонита. Отношение  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  повышается до 20 в середине интервала  $\text{SiO}_2$  и снижается до 2 на его окончаниях. Тренд карбонатных и терригенных верхнемиоценовых пород из разреза Серафимовка не обнаруживает заметного возрастания отношения  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  (лимонит не играет заметной роли) и протягивается до перекрывающихся между собой составов зеленых «мусорных» карбонатно-глинистых алевритов Куршской косы и лессов Восточных Саян и Тункинской долины. В красноватых плиоценовых отложениях о-ва Ольхон отношение  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  возрастает до 20. Фигуративное поле этих отложений соответствует серым алевритам с высоким  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  (около 10) в начале тренда отложений Куршской косы. Тренд этих отложений характеризуется снижением  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  до 1 при возрастании  $\text{SiO}_2$  до 97.7 мас.% в белом песке, состоящем из кварца с небольшой примесью других минералов.



**Рис. 14.** Диаграммы  $Fe_2O_3/FeO - SiO_2$  (а)  $CaO/Na_2O - SiO_2$  (б) и  $CIA - SiO_2$  (в) осадочных пород из разреза Куршской косы.  $CIA=100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$ . Усл. обозначения см. рис. 13.

**Fig. 14.** Diagrams  $Fe_2O_3/FeO - SiO_2$  (a)  $CaO/Na_2O - SiO_2$  (б) and  $CIA - SiO_2$  (в) of sedimentary rocks from the Curonian Spit section.  $CIA=100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$ . Symbols are as in Fig. 13.

Карбонаты мел-палеогеновой супутерекской свиты имеют максимальное отношение  $CaO/Na_2O$  (до 1000). С возрастанием  $SiO_2$  в ряду карбонатно-силикатных

пород отношение  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$  последовательно снижается до 1. Ряд карбонатных и глинистых верхнемиоценовых пород из разреза Серафимовка отличается более узким диапазоном отношения  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ . Тренд протягивается от составов карбонатов до перекрывающихся между собой составов зеленых «мусорных» карбонатно-глинистых алевроитов Куршской косы, лессов Восточных Саян и Тункинской долины, а также плиоценовых отложений о-ва Ольхон. Тренд серых алевроитов, темно-коричневых песков и песчаников, а также белых песков приходится на часть тренда мел-палеогеновой сулутерекской свиты с повышенным отношением  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ .

В показателе CIA знаменатель включает  $\text{CaO}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  вместе с  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{K}_2\text{O}$ . Этот показатель был введен для выявления степени выветривания силикатных пород (без карбонатов) (Nesbitt, Young, 1982). Карбонатные породы мел-палеогеновой сулутерекской свиты резко разделяются с породами двух других групп по низким значениям этого показателя, меняющимся от 0 до 30 при возрастании  $\text{SiO}_2$  от 4 до 84 мас.%. В одной из групп пород сулутерекской свиты, претерпевшей умеренное выветривание, CIA возрастает от значений зеленых «мусорных» карбонатно-глинистых алевроитов Куршской косы (35–40) до значений начала тренда вышележащих терригенных пород (до серых алевроитов) (около 70). В другой группе пород сулутерекской свиты, подверженных более сильному выветриванию, CIA находится в интервале 50–83 при содержании  $\text{SiO}_2$  40–63 мас.%.

Придавая генетический смысл выветривания материала осадочных отложений распределению фигуративных точек в верхней части диаграммы рис. 14в, нужно обратить внимание на смещение фигуративного поля зеленых «мусорных» карбонатно-глинистых алевроитов Куршской косы ниже и правее фигуративного поля лессов Восточных Саян и Тункинской долины и точек тренда серых алевроитов – белого песка ниже и правее фигуративного поля плиоценовых отложений о-

ва Ольхон. Осадочный материал плейстоцена и голоцена Куршской косы имеет меньшую степень вторичных изменений по сравнению с осадочными породами оз. Байкал, Тункинской долины и Восточных Саян. Такое различие состава может отражать более суровые условия нивального литогенеза плейстоценовой мерзлотной подготовки пылеватого обломочного материала на Балтике, чем на юге Сибири.

## Обсуждение

### *Предшествующие исследования плейстоцен-голоценовых отложений Самбийского п-ова Балтики и корреляции стратонов*

Данные по голоценовым осадочным отложениям района Куршской косы были обобщены в работе (Жиндарев, Кулаков, 1996), в которой предполагалось, что южная часть Балтийской котловины освободилась ото льда и была занята Южно-Балтийским ледниковым озером около 13 тыс. лет назад\*. В дальнейшем Южно-Балтийское ледниковое озеро объединилось с остатками озера Рамзея, занимавшего современную акваторию Финского залива и часть прилегающей суши. В результате образовалось единое Балтийское ледниковое озеро, представляющее самую раннюю стадию развития Балтики. Это событие относилось к началу аллерёда.

\* В работах 1990-х гг. приводились датировки  $^{14}\text{C}$  без поправки на временные вариации солнечной радиации. При пересчете на календарную дату возраст события может превысить 15 тыс. лет. В дальнейшем изложении реконструкций этих авторов приводится только общая последовательность событий без датировок.

В результате образовалось единое Балтийское ледниковое озеро, представляющее самую раннюю стадию развития Балтики. Это событие относилось к началу аллерёда.»

После освобождения ото льда порога стока в средней Швеции уровень Балтийского ледникового озера резко снизился и сравнялся с уровнем Мирового океана, воды которого проникли в Балтийскую котловину. Образовалось сильно опресненное

Иольдиевое море (J). Изостатическое поднятие средней Швеции, опережающее трансгрессивное повышение уровня Мирового океана, вызвало обмеление глубоких проливов, соединяющих Иольдиевое море с океаном, с последующим прекращением притока соленых вод в Балтийскую котловину. Сформировалось озеро, получившее название Анцилового (Anc), воды которого постепенно опреснялись и наступали на сушу независимо от колебаний уровня Мирового океана.

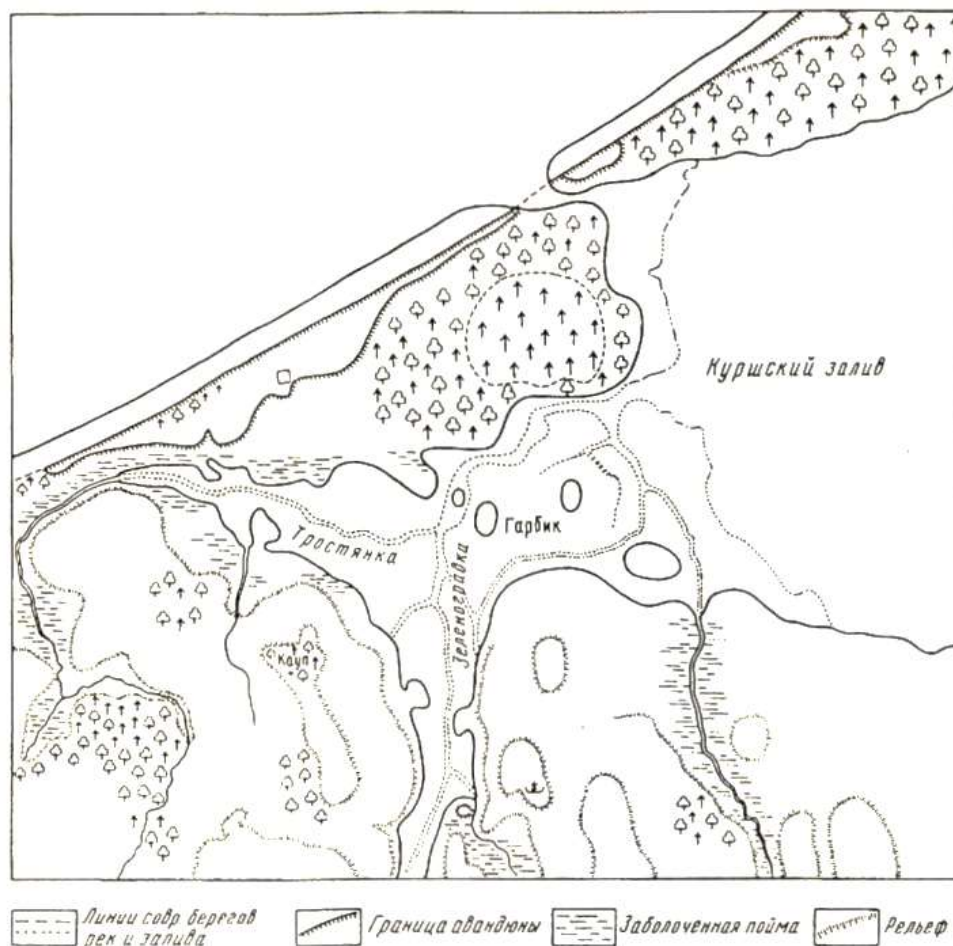
Отложения анциловой трансгрессии в юго-восточной Балтике залегают ниже современного уровня моря. На Куршской косе и в пределах одноименного залива анциловые отложения, представленные алевритами и песками с пресноводными видами диатомовых водорослей, вскрыты на отметках –15–10 м. На этих же глубинах располагается подножие подводного уступа у северных берегов Самбийского п-ва. В связи с опусканием порога стока уровень Анцилового озера, просуществовавшего 1.5 тыс. лет, снизился и сравнялся с уровнем Мирового океана. Морские воды вторглись в Балтийскую котловину. Образовался водоем, имеющий название Литоринового моря (Lit).

Литориновая трансгрессия была вызвана общим эвстатическим повышением уровня Мирового океана и протекала неравномерно, прерываясь периодами стабилизации и временного понижения уровня. Береговая линия этого возраста располагается в юго-восточной Балтике на глубинах 10–15 м и маркируется затопленным абразионным уступом у берегов Самбийского полуострова, а также выходами на подводном береговом склоне лагунных отложений литоринового возраста.

Прибрежно-морские отложения литоринового возраста прослежены, по материалу скважин на восточном берегу Куршского залива, вдоль всего материкового берега. В

разрезе обозначены две фазы литориновой трансгрессии. Первая из них была максимальной с отметками уровня +5 и +6 м. Распространение морской террасы литоринового возраста отмечена также вдоль восточного берега Калининградского залива. Высота ее также достигает +5 м. В ходе этой фазы литориновой трансгрессии зародились крупнейшие балтийские береговые аккумулятивные формы, в том числе Куршская и Балтийская (Вислинская) косы, отделившие от открытого моря соответственно Куршский и Калининградский заливы. В период кратковременной регрессии, разделявшей две фазы трансгрессии, уровень Литоринового моря опускался на 10–12 м ниже современного, а указанные заливы были частично спущены и изолированы от моря осушившимися Куршской и Балтийской косами. Вторая трансгрессивная фаза подняла уровень моря до отметок +2 и +3 м. Впадины заливов вновь наполнились водами открытого моря, поступавшими сюда через проливы, прорезавшие тела кос.

Дальнейшее состояние постлиторинового моря, получившего название Лимнивого, характеризуется незначительными осцилляциями его уровня около нулевой отметки. Многочисленные древние памятники, относящиеся к древнейшим предкам пруссов, жившие в III тысячелетии до н.э., обнаружены в наиболее широких и возвышенных частях Куршской косы, что свидетельствует о формировании этого аккумулятивного сооружения в ходе литориновой трансгрессии. В начале Куршской косы реконструируется пролив, соединявший Балтику и Куршский залив (рис. 15). В настоящее время дно пролива находится ниже уровня Балтийского моря. Бывший пролив перекрыт материалом дюнных отложений.

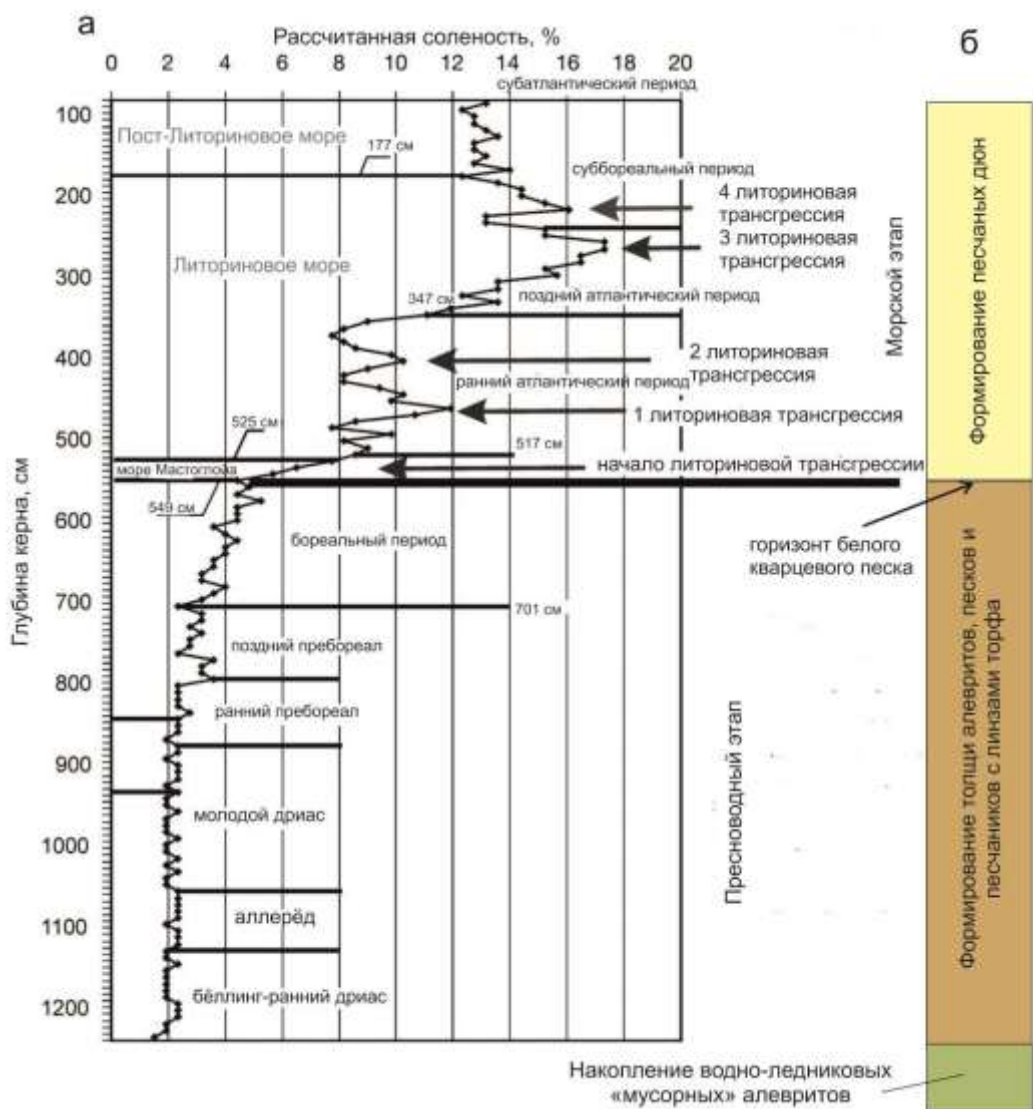


**Рис. 15.** Палеогеографическая и археологическая ситуация у юго-западной оконечности Куршской косы в IX–XIII веках (по О. Клеemannу, сплошной линией указана линия границы побережья в эпоху раннего средневековья) (Жиндарев, Кулаков, 1996).

**Fig. 15.** Paleogeographic and archaeological situation at the southwestern end of the Curonian Spit in the 9th–13th centuries (the coastal boundary in the early Middle Ages is indicated by a solid line after O. Kleemann) (Zhindarev, Kulakov, 1996).

Северо-восточнее пролива, в береговых обнажениях Куршской косы, охарактеризованных в настоящей работе, охарактеризованы три литолого-стратиграфические единицы: нижняя – «мусорных» зеленых карбонатно-глинистых алевролитов, средняя – песчаников с прослоями почвы и торфа и верхняя – эоловых песков. Эти отложения накапливались на континенте. Резкое литологическое различие осадочных пород предполагает последовательную смену фаций: водно-ледниковой, болотно-речной и береговой, эоловой.

Оценка солености воды и реконструкция смены пресного озера морем выполнена по вариациям концентрации брома в разрезе донных отложений северо-западнее Самбийского п-ова (местоположение см. на рис. 2). Соленость резко увеличивается с началом литориновой трансгрессии. Водно-ледниковые отложения Куршской косы коррелируются с доголоценовым этапом развития территории, болотно-речные – с ранне-среднеголоценовым этапом, береговые эоловые – с позднеголоценовым этапом накопления береговых эоловых песков (рис. 16).



**Рис. 16.** Иллюстрация этапов эволюции Балтики по палеосолености вод, рассчитанной по концентрации брома в осадочных породах ядра 303700-7 донных отложений Гданьской впадины (Grigoriev et al., 2011) (a) и коррелирующая с этим разрезом последовательность осадочных отложений Куршской косы (б). Схема корреляции может быть скорректирована датировками <sup>14</sup>C линз торфа.

**Fig. 16.** Illustration of the stages of the Baltic evolution based on the paleosalinity of waters calculated from the concentration of bromine in sedimentary rocks of core 303700-7 of the bottom sediments of the Gdansk Depression (Grigoriev et al., 2011) (a) and the stages of accumulation of sedimentary deposits in the studied section of the Curonian Spit (b). The correlation scheme can be adjusted by <sup>14</sup>C dating of peat lenses.

**Гипотеза об эрозионном (откопанном) происхождении впадин Балтийского моря**

Современная впадина Балтийского моря занимает эродированный протерозойский внутрикратонный бассейн на Фенноскандинавском щите. Предполагается неогеновое речное происхождение впадины с ее более поздней переработкой ледовой эрозией или

ее более молодое развитие с переуглублением под Фенноскандинавским ледовым щитом. Имеющиеся данные лучше согласуются с гипотезой об образовании Балтийского бассейна полностью за счет ледового щита, достигшего максимальной протяженности и мощности во время оледенений среднего и позднего плейстоцена (Hall, Van Voeckel, 2020). Два Ботнических бассейна

сформировались в основном за счет эрозии и выноса мезопротерозойских и раннепалеозойских осадочных пород (Amantov et al., 2011).

Подобные эрозионные (откопанные) морфоструктуры представляют собой впадины Забайкалья и впадины Восточной Африки, которые приобрели современную морфологическую выраженность вследствие избирательного выноса мезозойского обломочного материала.

*Переход от плейстоцена к голоцену в тектонической Южно-Байкальской впадине, вопрос о времени образования глубокого озера*

Юг Сибири был охвачен мощным оледенением в раннем и среднем плейстоцене. В Восточной Туве происходили вулканические извержения под ледовым покровом, мощность которого составляла не менее 500 м (Гросвальд, 1965). В разных районах Сибири распространены следы Сартанского горнодолинного оледенения с максимумом накопления льда 20–18 тыс. лет назад (Кинд, 1974; Волкова, Михайлова, 2001). В исследованиях разрезов осадочных отложений временного интервала последних 20 тыс. лет в оз. Байкал и других озерах юга Сибири время потепления и увлажнения климата на границе плейстоцена и голоцена определяется неоднозначно. Во многих работах для Байкала принимается рубеж потепления около 11 (11–9) тыс. лет назад (Безрукова и др., 2002; и др.). Указывается также рубеж 12 тыс. лет назад (Nogiuchi et al., 2000). С учетом начала накопления биогенного кремнезема (диатомовых водорослей) в байкальских осадках и определения для них календарного возраста по данным радиоуглеродного датирования предполагается более раннее быстрое изменение климатических условий в Прибайкалье уже около 15 тыс. лет назад, произошедшее одновременно с потеплением бёллинг. Значение этого рубежа в осадках оз. Байкал подчеркивалось в работе (Chebyukin et al., 2002). Позже такой же рубеж палеоклиматической смены обозначался при радиоуглеродном датировании осадков оз. Хубсугул (Прокопенко и др., 2003). Календарные даты, полученные радиоуглеродным датированием древесных остатков из вулканогенных и осадочных

отложений суходольных впадин северо-восточной части Байкальской рифтовой системы, свидетельствуют о том, что в это же время начались тектонические движения, сопровождавшиеся вулканической деятельностью (Rasskazov et al., 2010).

В отличие от впадины Балтийского моря, впадина Южного Байкала имеет тектоническое происхождение. Точное время ускоренного погружения днища Южного Байкала с образованием километровой водной линзы не определено. В качестве нижнего ограничения по возрасту может служить реконструкция русла древней реки, пересекавшей суходольную Южно-Байкальскую впадину в плиоцен-четвертичное время. Отложения верхнего миоцена-плиоцена пра-Аносовки на южном побережье Байкала и отложения плиоцена-плейстоцена долины Пра-Манзурки на его северо-западном побережье маркируются Co/Th аномалией (Рассказов и др., 2023).

В суходольных впадинах Байкальской рифтовой зоны находятся однородные песчаные массивы, формировавшиеся в плейстоцене и голоцене. Пески залегают также в центре глубокого озера Южно-Байкальской впадины. Верхние 8–12 м донных отложений Южного Байкала, изученные поршневыми грунтовыми трубками, подразделяются на байкальскую и добайкальскую части. В байкальской части отложений (средняя мощность около 6 м) значительную долю составляют диатомовые илы. Литологический состав добайкальской части разнообразен. В центре Мишихинско-Култукской депрессии добайкальские отложения представлены песками и глинами в переслаивании с песками (Голдырев, 1982). На международном рифтовом симпозиуме 1975 г. обращалось внимание на сходство песков донных отложений Южного Байкала с плейстоценовыми песками Тункинской впадины и допускалось недавнее (до 10 тыс. лет) опускание ложа впадины, не компенсированное осадками (Голдырев и др., 1975). «Данные по гранулометрии песчаных отложений в добайкальской части толщи свидетельствуют о совершенно иных условиях формирования толщи песков в котловине Байкала по сравнению с современными глубоководными осадками. Эти факты, как и текстуры песков,

указывают на мелководность, отсутствие единого водоема и участие ледниковых и флювиогляциальных процессов в формировании толщи песков и переслаивания их с глинами» (Голдырев, 1982, с. 132).

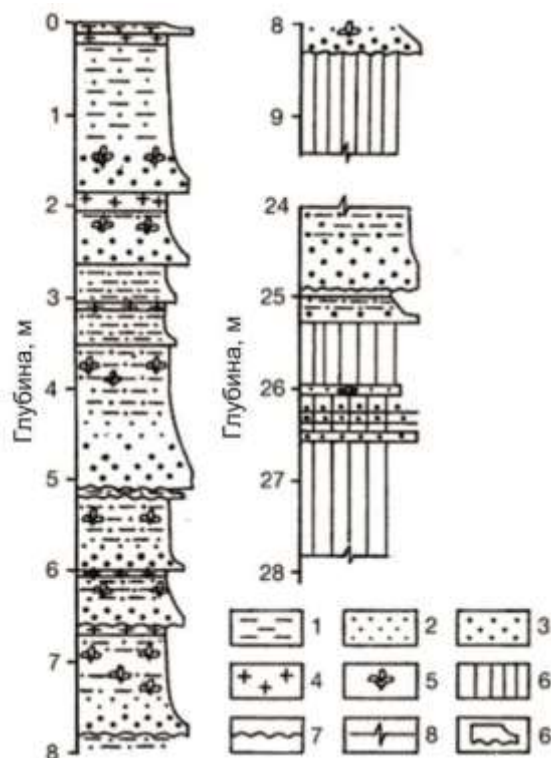
На дне Байкала распространены плотные окисленные добайкальские глины желтого и коричневатого-желтого цвета, встречаются глины серой и иной окраски. Добайкальские глины резко сменяются байкальскими отложениями в слое 1–2 м. Отмечается необычный литологический состав отложений на Посольской банке. «На самой верхней ее части (глубина 36 м) расположен галечный и песчаный материал, сцементированный гидроокислами железа и марганца. Обломочный материал хорошо окатан. Галька и песок на вершине Посольской банки являются местными, *in situ*. Склоны банки сложены рыхлыми осадками и чем глубже (вниз по склону), тем они менее плотные и более тонкозернистые (не на всех склонах). С глубиной также уменьшается мощность окисленного слоя. Из имеющегося материала ясно, что накопление осадков на Посольской банке идет весьма медленно. Так, на самой ее вершине осадков почти нет, и лишь с углублением вниз по склону их количество несколько увеличивается» (Голдырев, 1982, с. 75).

По результатам литолого-фациального анализа добайкальских отложений сделан вывод об их разновозрастном (миоцен – верхний плейстоцен) образовании в мелководных условиях и образовании осадков верхней части толщи во временном интервале среднего плейстоцена – голоцена в глубоководном Байкале. В строении верхней части разреза

значительную роль играют отложения ледникового происхождения (моренные и водноледниковые) (Голдырев, 1982).

Скважиной ВДР-97, пройденной в средней части акватории Южного Байкала на глубине 1428 м (координаты: 51°47'51" с.ш.; 105°29'.14" в.д.), были вскрыты отложения, получившие название «ледниковых глин» (Kuzmin et al., 2000). Литогеохимическая и минералогическая характеристика этих отложений не приводилась. Они переслаиваются с песками на глубинах 8–28 м. В интервале 1.5–8.0 м документировалось переслаивание крупнозернистого песка и гравия с илом и глиной. Грубообломочный материал обогащен остатками наземной растительности. Верхние 1.5 м выделяются особо как грязь и диатомовая грязь (рис. 17).

Присутствие осадочных прослоев с диатомеями было интерпретировано авторами статьи как свидетельство глубоководного накопления турбидитов. Такой интерпретации противоречит, однако, расположение скважины в центре впадины, на значительном удалении от берегов, и распространение детритового органического материала. Если отложения нижней части разреза имеют водноледниковое происхождение, они должны относиться к добайкальскому этапу. Более того, толща крупнозернистого песка и гравия со слоями ила и глины, остатками наземной растительности интервала 1.5–8.0 м могла накапливаться в условиях заболачивания меандр реки, возможно, с эпизодической трансгрессией озерных вод. Следовательно, эта толща образовалась до ускоренного опускания днища Южно-Байкальской впадины, повлекшего ее заполнение водой.



**Рис. 17.** Документация осадочных пород в разрезе BDP-97 (Kuzmin et al., 2000). 1 – грязь; 2 – ил; 3 – песок; 4 – диатомовая грязь; 5 – фрагменты деревьев и растений; 6 – ледниковая глина; 7 – эрозионный контакт; 8 – обрыв и конец разреза керн; 9 – пласты турбидитов с градиционной слоистостью. Преобладают пласты, содержащие крупнозернистый обломочный материал со значительным количеством обломков древесины и других растительных остатков. Эти слои, составляющие 70–75% от общей длины керн, чередуются с тонкозернистыми осадками.

**Fig. 17.** Recording lithology of the BDP-97 section (Kuzmin et al., 2000). 1 – mud; 2 – silt; 3 – sand; 4 – diatomaceous mud; 5 – wood and plant fragments; 6 – glacial clay; 7 – erosional contact; 8 – break and end of core section; 9 – turbidite beds with graded bedding. Beds, contained coarse-grained material and a significant amount of wood fragments and other plant debris, dominate in the section. These layers comprise 70–75% of the total length of the core and alternate with fine grained sediments.

### Заключение

В нижней (плейстоценовой) части разреза балтийского берега Куршской косы находятся водно-ледниковые зеленые «мусорные» карбонатно-глинистые алевриты с содержанием  $\text{SiO}_2$  58.4–64.6 мас.% и потерями при прокаливании 2.0–2.4 мас.%. Вхождение в эти породы карбоната обозначается высокими содержаниями  $\text{CO}_2$  (8.0–8.8 мас. %) и  $\text{CaO}$  (8.5–10.0 мас. %). Выше по разрезу залегают алевриты, пески и песчаники с линзами торфа. В основании этой части разреза обломочные отложения имеют полимиктовый состав ( $\text{SiO}_2=74.4\text{--}85.4$  мас.%). Снизу вверх по разрезу последовательно возрастает роль кварца до образования песка с содержанием  $\text{SiO}_2=97.7$  мас.%. Содержания  $\text{CO}_2$  и  $\text{CaO}$  снижаются в обломочных отложениях,

соответственно, до <0.5 и 0.15–0.95 мас.%. Разрез венчается дюнными песками.

Смена водно-ледниковых глин обломочными отложениями с линзами торфа коррелируется с начальным (раннеголоценовым) этапом образования Балтийского моря после стаивания ледового покрова Фенноскандинавского щита (11–8 тыс. кал. л.н.) и голоценовым термальным максимумом (8.0–5.7 тыс. кал. л.н.), а выход на слой кварцевого песка, венчающий разрез, – с переходом к относительно похолоданию позднего голоцена.

В донных отложениях южной впадины оз. Байкал и его береговых обнажениях также имеются контрастные литологические переходы от водно-ледниковых слоев к слоям полигенетического голоценового осадочного комплекса. Такое сходство предполагает включение близких по характеру механизмов

осадконакопления в районах Балтики и юга Сибири. Выполненное сопоставление лито-геохимических данные показало, что осадочный материал плейстоцена и голоцена Куршской косы имеет меньшую степень вторичных изменений по сравнению с осадочными породами оз. Байкал, Тункинской долины и Восточных Саян. Литогеохимическое различие может отражать более суровые условия нивального литогенеза на Балтике, чем на юге Сибири. В плейстоцене Балтийского региона обеспечивалась более существенная плейстоценовая мерзлотная подготовка обломочного пылеватого материала для его накопления в голоценовых отложениях.

### **Благодарности**

Работа выполнена по проекту ИЗК СО РАН FWEF-2026-0010 в связи с разработкой курса геологического факультета ИГУ «Геология и стратиграфия кайнозоя Сибири». Использовались аналитические данные по осадочным породам Тянь-Шаня, опробованным при полевых работах, организованных А.В. Миколайчуком и проведенных с участием И.С. Чувашовой, по осадочным породам о-ва Ольхон – аналитические данные, полученные при совместных работах с А. Клементьевым и А. Сизовым. Химический состав осадочных пород определялся М.М. Самойленко.

### **Литература**

Безрукова Е.В., Кривоногов С.К., Такахара Х. и др. Реконструкция ландшафтно-климатических условий восточного побережья озера Байкал в голоцене по результатам комплексного исследования скважины «АРАНГАТУЙ» / Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2002. Вып. 1. С. 36–47.

Волкова В.С., Михайлова И.В. Природная обстановка и климат в эпоху последнего (сартанского) оледенения Западной Сибири (по палинологическим данным) // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 4. С. 678–689.

Голдырев Г. С. Осадкообразование и четвертичная история котловины Байкала. Новосибирск: Наука, 1982. 182 с.

Голдырев Г.С., Белова В.А., Выхристюк Л.А., Лазо Ф.И., Федорова В.А. Новые данные о составе и возрасте верхней части осадочной толщи

котловины Байкала // Проблемы рифтогенеза. Иркутск, 1975. С. 43–45.

Гросвальд М. Г. Развитие рельефа Саяно-Тувинского нагорья. М.: Наука, 1965. 166 с.

Жиндарев Л.А., Кулаков В.И. Уровенный режим Балтийского моря в голоцене // Известия Российской академии наук. Сер. географическая, 1996. № 5. С. 55–67.

Кашик С.А., Ломоносова Т.К. Кайнозойские отложения подводного Академического хребта в озере Байкал // Литология и полезные ископаемые. 2006. № 4. С. 339–353.

Кинд Н. В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. М., Наука, 1974, 254 с.

Новенко Е.Ю. Динамика ландшафтов и климата в Центральной и Восточной Европе в голоцене: палеогеографические аспекты прогноза возможных изменений природной среды // Экосистемы: экология и динамика. 2020. Т. 4, № 4. С. 57–80. DOI: 10.24411/2542-2006-2020-10074

Прокопенко А.А., Кузьмин М.И., Калмычков Г.В. и др. Изменение состава донных осадков озера Хубсугул как показатель измерения климата в Байкальском регионе на рубеже 15–14 тыс. лет назад // Докл. АН. 2003. Т. 390, № 1. С. 109–112.

Рассказов С.В., Решетова С.А., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С., Саранина Е.В., Рубцова М.Н., Аль Хамуд А., Хассан А. Отложения верхнего миоцена-плиоцена Пра-Аносовки как источник аллювия Пра-Манзурки: Добайкальский перенос обломочного материала через Южно-Байкальскую впадину // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 4. С. 82–107. doi: 10.26516/2541-9641.2023.4.82

Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С., Папаев А.П., Снопков С.В., Парфенов Д.И., Иванов К.О., Полежаева И.В., Калинович М.Е. Геохимические характеристики лессов Тункинской долины и Окинской впадины, юг Восточной Сибири: сопоставление с геохимическими характеристиками лессов сопредельной Азии // Геология и окружающая среда. 2025. Т. 5, № 1. С. 23–60. DOI 10.26516/2541-9641.2025.1.23.

Сизых Ю.И. Общая схема химического анализа горных пород и минералов. Отчет. Институт земной коры СО АН СССР. Иркутск, 1985. 50 с.

Alley R.B. The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland // Quaternary Sci Rev. 2000. Vol. 19. P. 213–226. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00062-1](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00062-1)

Amantov A., Fjeldskaar W., Cathles L. Glacial erosion/sedimentation of the Baltic region and the effect on the postglacial uplift // J. Harff, S. Björck, P. Hoth (eds.). *The Baltic Sea Basin*. Springer, Berlin Heidelberg, 2011. P. 53–71.

Chebykin E.P., Edgington D.N., Grachev M.A. et al. Abrupt increase in precipitation and weathering of soils in East Siberia coincident with the end of the last glaciation // *Earth Planet. Sci. Letters*. 2002. Vol. 200, No. 1–2. P. 167–175.

Borzenkova I., Zorita E., Borisova O., Kalnina L., Kisieliene D., Koff T., Kuznetsov D., Lemdahl G., Sapelko T., Stančikaite M., Subetto D. Climate change during the Holocene (past 12,000 years) // *Second assessment of climate change for the Baltic Sea Basin, regional climate studies*. Geesthacht: Springer Open. 2015. P. 25–49. DOI: 10.1007/978-3-319-16006-1\_2

Grigoriev A., Zhamoida V., Spiridonov M., Sharapova A., Sivkov V., Ryabchuk D. Late-glacial and Holocene palaeoenvironments in the Baltic Sea based on a sedimentary record from the Gdansk Basin // *Climate Research*. 2011. Vol. 48. P. 13–21. doi: 10.3354/cr00944

Hall A., Van Boeckel M. Origin of the Baltic Sea basin by Pleistocene glacial erosion // *GFF*. 2020. Vol. 42, Part 3. P. 237–252. doi: 10.1080/11035897.2020.1781246

Horiuchi K., Minoura K., Hoshino K. et al. Paleoenvironment history of Lake Baikal during the last 23000 years // *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 2000. Vol. 157. P. 95–108.

Kuzmin M.I., Karabanov E. B., Prokopenko A.A., Gelety V.F., Antipin V.S., Williams D.F., Gvozdkov A.N. Sedimentation processes and new age constraints on rifting stages in Lake Baikal: results of deep-water drilling // *Int J Earth Sci*. 2000. Vol. 89. P. 183–192.

Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. 1982. Vol. 299. P. 715–717.

Rasmussen S.O., Andersen K.K., Svensson A.M., Steffensen J.P., Vinther B.M., Clausen H.B., Siggaard-Andersen M-L., Johnsen S.J., Larsen L.B., Dahl-Jensen D., Bigler M., Röthlisberger R., Fischer H., Goto-Azuma K., Hansson M.E., Ruth U. A new Greenland ice-core chronology for the last glacial termination // *J. Geophys. Res*. 2006. Vol. 111. D06102. doi: 10.1029/2005JD006079

Rasskazov S.V., Brandt S.B., Brandt I.S. *Radiogenic isotopes in geologic processes*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2010. 306 p.

van Geel B., Sevink J. High-resolution studies of the Bølling-Allerød to the Younger Dryas transition in the Netherlands: implications for the reconstruction of vegetation changes and the potential role of (perma)frost in contemporary paludification // *Quaternary Science Reviews*. 2025. Vol. 361: 109411.

Walker M., Johnson S., Rasmussen S.O., Steffensen J.P., Popp T., Gibbard P., Hoek W., Lowe J., Andrews J., Björck S., Cwynar L., Hughen K., Kershaw P., Kromer B., Litt T., Lowe D.J., Nakagawa T., Newnham R., Schwander J. The global stratotype section and point (GSSP) for the base of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period) in the NGRIP ice core 11 // *Episodes*. 2008. Vol. 31, No. 2. P. 264–267.

Walker M., Johnsen S., Rasmussen S.O., Popp T., Steffensen J.P., Gibbard P., Hoek W., Lowe J., Andrews J., Björck S., Cwynar L.C., Hughen K., Kershaw P., Kromer B., Litt T., Lowe D.J., Nakagawa T., Newnham R., Schwander J. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records // *J. Quaternary Sci*. 2009. Vol. 24. P. 3–17.

Walker M.J., Berkelhammer M., Björck S., Cwynar L.C., Fisher D.A., Long A.J., Lowe J.J., Newnham R.M., Rasmussen S.O., Weiss H. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a discussion paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy) // *Journal of Quaternary Science*. 2012. Vol. 27. P. 649–659.

Walker M., Head M.J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L., Fisher D., Gkinis V., Long A., Lowe J., Newnham R., Rasmussen S.O., Weiss H. Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries // *Episodes*. 2018. Vol. 41, No. 4. P. 213–223. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2018/018016>

## References

Alley R.B. The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland // *Quaternary Sci Rev*. 2000. Vol. 19. P. 213–226. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00062-1](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00062-1)

Amantov A., Fjeldskaar W., Cathles L. Glacial erosion/sedimentation of the Baltic region and the effect on the postglacial uplift // J. Harff, S. Björck, P. Hoth (eds.). *The Baltic Sea Basin*. Springer, Berlin Heidelberg, 2011. P. 53–71.

Bezrukova E.V., Krivonogov S.K., Takahara H., et al. Reconstruction of landscape and climatic

conditions of the eastern coast of Lake Baikal in the Holocene based on the results of a comprehensive study of the Arangatui borehole // Main regularities of global and regional changes in climate and the natural environment in the Late Cenozoic of Siberia. Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, 2002. Issue 1. P. 36–47.

Chebykin E.P., Edgington D.N., Grachev M.A. et al. Abrupt increase in precipitation and weathering of soils in East Siberia coincident with the end of the last glaciation // *Earth Planet. Sci. Letters*. 2002. Vol. 200, No. 1–2. P. 167–175.

Borzenkova I., Zorita E., Borisova O., Kalnina L., Kisieliene D., Koff T., Kuznetsov D., Lemdahl G., Sapelko T., Stančikaite M., Subetto D. Climate change during the Holocene (past 12,000 years) // Second assessment of climate change for the Baltic Sea Basin, regional climate studies. Geesthacht: Springer Open. 2015. P. 25–49. DOI: 10.1007/978-3-319-16006-1\_2

Goldryev G.S. Sedimentation and Quaternary history of the Baikal basin. Novosibirsk: Nauka, 1982. 182 p.

Goldryev G.S., Belova V.A., Vykhristyuk L.A., Lazo F.I., Fedorova V.A. New data on the composition and age of the upper part of the sedimentary sequence of the Baikal basin // *Problems of rifting*. Irkutsk, 1975. P. 43–45.

Grigoriev A., Zhamoida V., Spiridonov M., Sharapova A., Sivkov V., Ryabchuk D. Late-glacial and Holocene palaeoenvironments in the Baltic Sea based on a sedimentary record from the Gdansk Basin // *Climate Research*. 2011. Vol. 48. P. 13–21. doi: 10.3354/cr00944

Grosvald M.G. Development of the relief in the Sayan-Tuva upland. Moscow: Nauka, 1965. 166 p.

Hall A., Van Boeckel M. Origin of the Baltic Sea basin by Pleistocene glacial erosion // *GFF*. 2020. Vol. 42, Part 3. P. 237–252. doi: 10.1080/11035897.2020.1781246

Horiuchi K., Minoura K., Hoshino K. et al. Palaeoenvironment history of Lake Baikal during the last 23000 years // *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. 2000. Vol. 157. P. 95–108.

Kashik S.A., Lomonosova T.K. Cenozoic deposits of the underwater Academicheskoy Ridge in Lake Baikal // *Lithology and mineral resources*. 2006. No. 4. P. 339–353.

Kind, N. V. Geochronology of the late Anthropogene based on isotope data. Moscow, Nauka, 1974. 254 p.

Kuzmin M.I., Karabanov E. B., Prokopenko A.A., Gelety V.F., Antipin V.S., Williams D.F., Gvozdkov A.N. Sedimentation processes and new age constraints on rifting stages in Lake Baikal: results of deep-water drilling // *Int J Earth Sci*. 2000. Vol. 89. P. 183–192.

Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element

chemistry of lutites // *Nature*. 1982. Vol. 299. P. 715–717.

Novenko, E.Yu. Landscape and climate dynamics in Central and Eastern Europe in the Holocene: paleogeographic aspects of forecasting possible environmental changes // *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 2020. Vol. 4, No. 4. P. 57–80. DOI: 10.24411/2542-2006-2020-10074

Prokopenko, A. A., Kuzmin, M. I., Kalmychkov, G. V. et al. Changes in the composition of bottom sediments of Lake Hovsgol as an indicator of climate measurements in the Baikal region at the turn of 15–14 thousand years ago // *Dokl. Akademii Nauk*. 2003. Vol. 390, No. 1. P. 109–112.

Rasmussen S.O., Andersen K.K., Svensson A.M., Steffensen J.P., Vinther B.M., Clausen H.B., Siggaard-Andersen M-L., Johnsen S.J., Larsen L.B., Dahl-Jensen D., Bigler M., Röthlisberger R., Fischer H., Goto-Azuma K., Hansson M.E., Ruth U. A new Greenland ice-core chronology for the last glacial termination // *J. Geophys. Res*. 2006. Vol. 111. D06102. doi: 10.1029/2005JD006079

Rasskazov S.V., Brandt S.B., Brandt I.S. Radiogenic isotopes in geologic processes. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2010. 306 p.

Rasskazov S.V., Reshetova S.A., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S., Saranina E.V., Rubtsova M.N., Al Hamud A., Hassan A. Upper Miocene-Pliocene deposits of Pra-Anosovka as a source of Pra-Manzurka alluvium: Pre-Baikal transport of detrital material through the South Baikal depression // *Geology and Environment*. 2023. Vol. 3, No. 4. P. 82–107. doi: 10.26516/2541-9641.2023.4.82

Rasskazov S.V., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S., Papaev A.P., Snopkov S.V., Parfenov D.I., Ivanov K.O., Polezhaeva I.V., Kalinovich M.E. Geochemical signatures of loesses from the Tunka Valley and Oka Basin, South of Eastern Siberia: comparison with geochemical signatures of loesses from adjacent Asia // *Geology and Environment*. 2025. Vol. 5, No. 1. P. 23–60. DOI 10.26516/2541-9641.2025.1.23.

Sizykh Yu.I. General scheme of chemical analysis of rocks and minerals. Report. Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. Irkutsk, 1985. 50 p.

van Geel B., Sevink J. High-resolution studies of the Bølling-Allerød to the Younger Dryas transition in the Netherlands: implications for the reconstruction of vegetation changes and the potential role of (perma)frost in contemporary paludification // *Quaternary Science Reviews*. 2025. Vol. 361: 109411.

Volkova V.S., Mikhailova I.V. Natural environment and climate during the last (Sartan) glaciation of Western Siberia (based on palynological data) // *Geology and Geophysics*. 2001. Vol. 42, No. 4. P. 678–689

Walker M., Johnson S., Rasmussen S.O., Steffensen J.P., Popp T., Gibbard P., Hoek W., Lowe J., Andrews J., Björck S., Cwynar L., Hughen K., Kershaw P., Kromer B., Litt T., Lowe D.J.,

Nakagawa T., Newnham R., Schwande J. The global stratotype section and point (GSSP) for the base of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period) in the NGRIP ice core 11 // Episodes. 2008. Vol. 31, No. 2. P. 264–267.

Walker M., Johnsen S., Rasmussen S.O., Popp T., Steffensen J.-P., Gibbard P., Hoek W., Lowe J., Andrews J., Björck S., Cwynar L.C., Hughen K., Kershaw P., Kromer B., Litt T., Lowe D.J., Nakagawa T., Newnham R., Schwander J. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records // J. Quaternary Sci. 2009. Vol. 24. P. 3–17.

Walker M.J., Berkelhammer M., Björck S., Cwynar L.C., Fisher D.A., Long A.J., Lowe J.J., Newnham R.M., Rasmussen S.O., Weiss H. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a discussion paper by a Working Group of INTIMATE

(Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy) // Journal of Quaternary Science. 2012. Vol. 27. P. 649–659.

Walker M., Head M.J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L., Fisher D., Gkinis V., Long A., Lowe J., Newnham R., Rasmussen S.O., Weiss H. Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries // Episodes. 2018. Vol. 41, No. 4. P. 213–223. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2018/018016>

Zhindarev L.A., Kulakov V.I. Level regime of the Baltic Sea in the Holocene // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series, 1996. No. 5. P. 55–67.

**Рассказов Сергей Васильевич,**

доктор геолого-минералогических наук, профессор,

664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет, геологический факультет,

заведующий кафедрой динамической геологии,

664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,

Институт земной коры СО РАН,

заведующий лабораторией изотопии и геохронологии,

тел.: (3952) 51–16–59,

email: rassk@crust.irk.ru

**Rasskazov Sergey Vasilyevich,**

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,

664025, Irkutsk, Lenin st., 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

Head of the Department of Dynamic Geology,

664033, Irkutsk, Lermontov st., 128,

Institute of the Earth's Crust SB RAS,

Head of the Laboratory of Isotopy and Geochronology,

tel.: (3952) 51–16–59,

email: rassk@crust.irk.ru

# ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА

УДК 553.98; 550.8.05

<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2026.1.32>

EDN: ONSRQT

## Результаты исследовательской работы обучающихся магистратуры геологического факультета Иркутского государственного университета

А.И. Лихачев<sup>1</sup>, Б.Ж. Батожаргалов<sup>1</sup>, А.Л. Базаров<sup>1</sup>, Д.А. Дамбаев<sup>1</sup>, Л.А. Иванова<sup>1</sup>,  
С.П. Примина<sup>1</sup>, А.Ф. Летникова<sup>1</sup>, С.В. Снопков<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

**Аннотация.** Изучение особенностей геологического строения и технологии разработки месторождений углеводородов является одним из основных направлений в образовательной программе магистратуры по направлению «Геология нефти и газа» в Иркутском государственном университете. В статье представлены результаты исследований, выполненных магистрантами второго года очного обучения по указанному направлению. В работах рассмотрены вопросы разработки ряда месторождений Восточной Сибири.

**Ключевые слова:** магистратура, научно-исследовательская работа обучающихся, месторождения углеводородов, свойства коллекторов, методы поддержания пластового давления, эффективность буровых работ, осложнения при бурении скважин, рапопроявление

## Results of Research Work of Master's Students of the Faculty of Geology of Irkutsk State University

A.I. Likhachev<sup>1</sup>, B.Zh. Batozhargalov<sup>1</sup>, A.L. Bazarov<sup>1</sup>, D.A. Dambaev<sup>1</sup>, L.A. Ivanova<sup>1</sup>, S.P. Primina<sup>1</sup>, A.F. Letnikova<sup>1</sup>, S.V. Snopkov<sup>1,2</sup>

**Abstract.** Studying the geological structure and development technologies of hydrocarbon deposits is a key focus of the Master's program in Oil and Gas Geology at Irkutsk State University. This article presents the results of research conducted by second-year full-time Master's students in this program. The papers examine the development of several fields in Eastern Siberia.

**Keywords:** master's degree, research work of students, hydrocarbon fields, reservoir properties, methods of reservoir pressure maintenance, drilling efficiency, complications during well drilling, RAP occurrence

\* Статья получена: 10.03.2026; исправлена: 23.03.2026; принята: 27.03.2026.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Лихачев А.И., Батожаргалов Б.Ж., Базаров А.Л., Дамбаев Д.А., Иванова Л.А., Примина С.П., Летникова А.Ф., Снопков С.В. Результаты исследовательской работы обучающихся магистратуры геологического факультета Иркутского государственного университета // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 1. С. 32–55. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.32. EDN: ONSRQT

Article received: 10.03.2026; corrected: 23.03.2026; accepted: 27.03.2026.

FOR CITATION: Likhachev A.I., Batozhargalov B.Zh., Bazarov A.L., Dambaev D.A., Ivanova L.A., Primina S.P., Letnikova A.F., Snopkov S.V. Results of research work of master's students of the Faculty of Geology of Irkutsk State University // Geology and Environment. 2026. Vol. 6, No. 1. P. 32–55. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.32. EDN: ONSRQT

## **Введение**

Особенностью образовательной программы магистратуры является не только углублённая специализация и междисциплинарность обучения, но и занятие научными исследованиями по теме своей будущей квалификационной работы.

В данной статье дан краткий обзор результатов проведенных исследований магистрантами 2 года обучения по специальности «Геология», направленности «Геология нефти и газа».

Проведенные обучающимися магистратуры исследования были направлены на изучение особенностей геологического строения и эксплуатации ряда месторождений углеводородов Восточной Сибири.

Лихачевым А.И. проведен анализ фильтрационно-емкостных свойств коллекторов Верхнечонского НГКМ и использование их для выбора методов поддержания пластового давления при разработке месторождения. Батожагаловым Б.Ж. изучены особенности системы поддержания пластового давления при разработке газоконденсатных месторождений на примере Ярактинского НГКМ и рассмотрены вопросы проектирования и эксплуатации системы поддержания пластового давления для газоконденсатных залежей месторождения. Базаровым А.Л. проведена оценка влияния геологического строения на эффективность буровых работ на Ярактинском НГКМ. Дамбаевым Д.А. рассмотрены осложнения, возникающие в процессе бурения на Ковыктинском ГКМ при вскрытии объектов с аномально высоким пластовым давлением, приуроченных к галогенно-карбонатной гидрогеологической формации. Ивановой Л.А. проведена комплексная оценка прямых признаков нефтегазоносности Сибири, анализ их связи с геологическим строением региона и систематизация методов выявления и прогнозного районирования перспективных земель.

Проведенные исследования обучающимися станут составной частью будущих выпускных квалификационных работ авторов.

**К вопросу о выборе методов поддержания пластового давления на Верхнечонском**

## **нефтегазоконденсатном месторождении**

Магистрантом А.И. Лихачевым (научный руководитель С.В. Снопков) проведен анализ особенностей геологического строения продуктивных горизонтов Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ), которые влияют на выбор методов поддержания пластового давления (ППД) при разработке месторождения.

Актуальность исследования определяется тем, что длительная эксплуатация скважин и высокий темп отбора флюидов приводят к падению пластового давления. Для газоконденсатных месторождений это особенно критично, так как при снижении давления происходит конденсация углеводородов в порах. Конденсатная пленка в капиллярах уменьшает эффективную проницаемость для газа и затрудняет его движение к стволу скважины. Особенно это ярко проявляется в зонах с тонкопористыми коллекторами. Поддержание пластового давления при добыче углеводородов важная часть системы разработки месторождений, и осуществляется с целью достижения высоких темпов их извлечения. Разработано большое разнообразие методов ППД, однако, для различных геологических ситуаций разные методы будут иметь различную эффективность.

Неравномерность геологического строения, наличие разломов и вариабельность проницаемости приводят к неравномерному распределению давлений в разных частях продуктивного горизонта. В результате некоторые участки отдадут флюид более интенсивно, другие фильтруют его гораздо медленнее. В результате пропластки с более низкой проницаемостью остаются разработанными лишь частично, что снижает суммарную отдачу месторождения.

Верхнечонское НГКМ приурочено к Верхнечонскому структурному мысу, осложняющему центральную часть Непского свода, входящего в состав Непско-Ботуобинской антеклизы. Месторождение многопластовое и имеет сложное геологическое строение. Геологический разрез представлен тремя структурными ярусами: фундаментом, состоящим кристаллическими породами протерозой-архейского возраста; рифейскими породами, заполняющими Талаканский грабен; и венд-палеозой-мезозойским осадочным чехлом.

В отложениях венда — нижнего кембрия выделяются ряд продуктивных и перспективных горизонтов. Промышленные запасы нефти и газа приурочены к карбонатным

(осинский, преображенский) и терригенным (верхнечонским) горизонтам. Перспективными являются карбонатные отложения устькутского горизонта собинской свиты и межсолевые пласты усольской свиты.

Основные запасы нефти месторождения связаны с верхнечонским горизонтом, представленным терригенными отложениями непской свиты вендского возраста. Горизонт включает в себя два пласта (верхний — ВЧ<sub>1</sub> и нижний — ВЧ<sub>2</sub>). Пласт ВЧ<sub>2</sub> сложен кварцевыми и полевошпатокарцевыми песчаниками. Общая толщина пласта меняется от 5.5 до 20.2 м. В части скважин коллектор пласта замещен плотными непроницаемыми породами. Пласт ВЧ<sub>1</sub> сложен кварцевыми, хорошо отсортированными песчаниками. Общая толщина пласта составляет от 2.2 до 26. Прослой глинисто-алевролитовых пород, толщиной 0.4-0.8 м, встречаются редко. В части скважин коллектор пластов замещен плотными непроницаемыми породами. В восточной и центральной частях площади пласты ВЧ<sub>1</sub> и ВЧ<sub>2</sub> разделяются глинистой перемычкой толщиной от 1.4 до 24 м.

Типы выявленных залежей пластовые, стратиграфически, литологически и тектонически экранированные. Всего на месторождении в песчаниках верхнечонского горизонта выделено 5 нефтяных, 4 нефтегазоконденсатных и одна газовая залежь в 3 пластах. Все продуктивные пласты демонстрируют высокую лито-фаціальную изменчивость.

Значения пористости алевролитов и песчаников пласта по результатам ГИС и лабораторным данным до 18–22 %, редко 24–26 %, газопроницаемость до 262–2332 мД. По данным ГИС среднее значение проницаемости составляет 481.4 мД, пористости — 12.9 %, при этом значение пористости нефтенасыщенной части составляет 12.0%, а газонасыщенной части — 10.2 %.

Одним из главных необходимых условий эффективного использования углеводородных запасов является поддержание пластового давления посредством закачки в нефтяные пласты воды. Но применение этого способа ППД не всегда эффективно, а иногда даже губительно для эксплуатации месторождения. В процессе заводнения нефтяного пласта закачиваемая через нагнетательные скважины вода устремляется в пропластки с наибольшей проницаемостью, что приводит к неравномерному охвату пластов воздействием. Опыт разработки показывает, что прорыв закачиваемых вод по отдельным высокопроницаемым пластам приводит к

преждевременному обводнению скважин до 80–90 %, при суммарном отборе нефти не более 40–50 % от извлекаемых запасов. На поздней стадии разработки месторождений возникает ряд проблем, основной из которых является превращение пропластков с наименьшим гидравлическим сопротивлением в основной канал фильтрации. Это не позволяет реализовать в полной мере энергию пластовых и закачиваемых вод, при этом энергозатраты на добычу одной тонны нефти существенно возрастают сравнительно с первоначальными.

При принятии решения о выборе метода ППД необходимо проводить анализ неоднородности проницаемости продуктивного пласта.

Состав и строение непской свиты подробно рассмотрены в статье А.В. Плюснина и М.И. Гёкче (Плюснин, 2020). По данным исследования керна авторы разделили свиту на литологические пачки, представленные конгломерато-гравийно-глинисто-песчаными породами. Распространен глинистый цемент, который составляет до 10–15 % объема породы. Мощность пропластков разных литотипов изменяется от 0.05 до 0.52 м.

В настоящее время, фильтрационно-емкостные свойства продуктивных пластов месторождения изучены по образцам керна из 124 скважин. КERN исследовался в лаборатории комплексной опытно-методической экспедиции ГТП «Востсибнефтегазгеология» (94 скв.), ОАО «ТомскНИПИнефть» (6 скв.) и ООО «ТННЦ» (23 скв.). Диапазон изменения пористости составил от 0.001 до 31.8 %, проницаемости — от 0.001 до 12 269.2 мД.

Используя результаты определения пористости и проницаемости продуктивных горизонтов для пластов ВЧ<sub>1</sub> и ВЧ<sub>2</sub> авторами был проведен статистический анализ данных. Анализ проводился по выборке 232 образца.

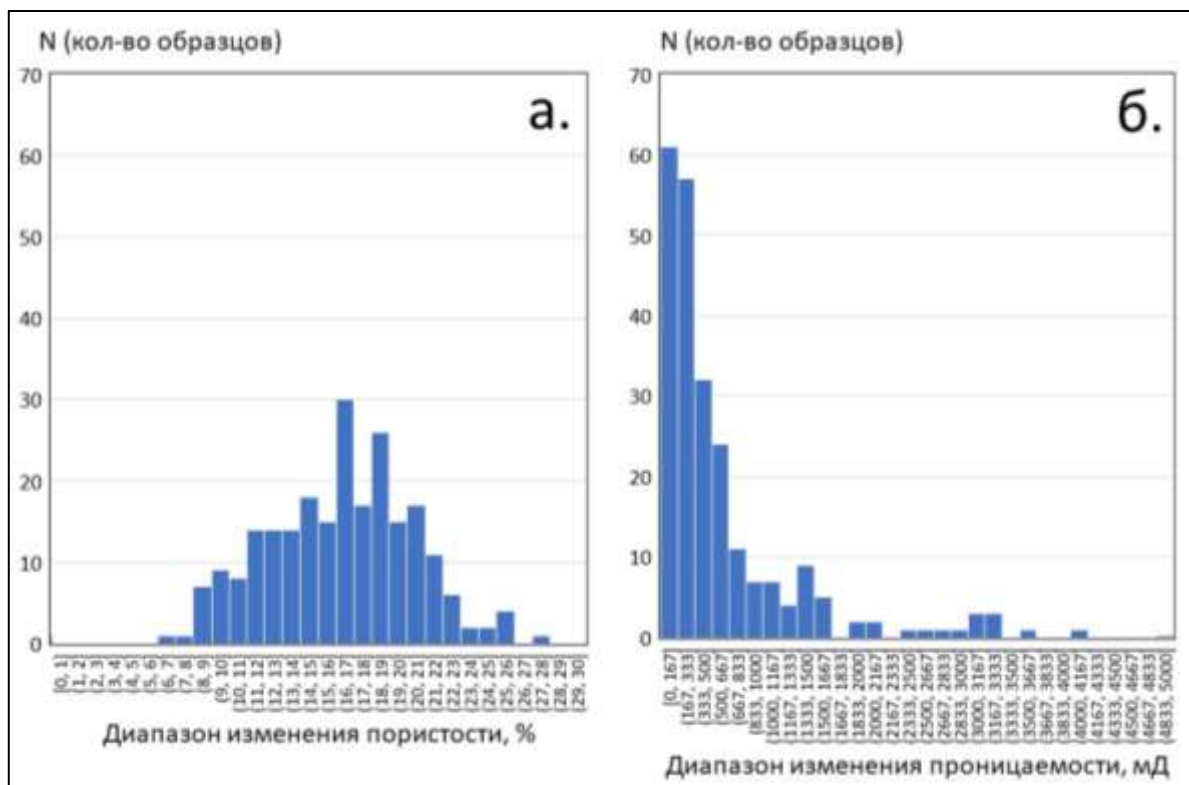
Диапазон изменения пористости пластов ВЧ составил от 6.8 до 27.2 %, проницаемости — от 5 до 4058 мД. Коэффициент корреляции между пористостью и логарифмом проницаемости составил 0.46, что является свидетельством высокой степени статистической взаимозависимости параметров. (Граничное значение коэффициента линейной корреляции Пирсона при 99 %-ой доверительной вероятности составляет 0.163).

Для оценки характера изменчивости физических свойств пород были построены гistogramмы (рис. 1). Для построения гistogramм диапазон изменения параметров был разбит на 30 интервалов. На диаграммах видно, что

распределение пористости близко к нормальному распределению, проницаемости — к логнормальному.

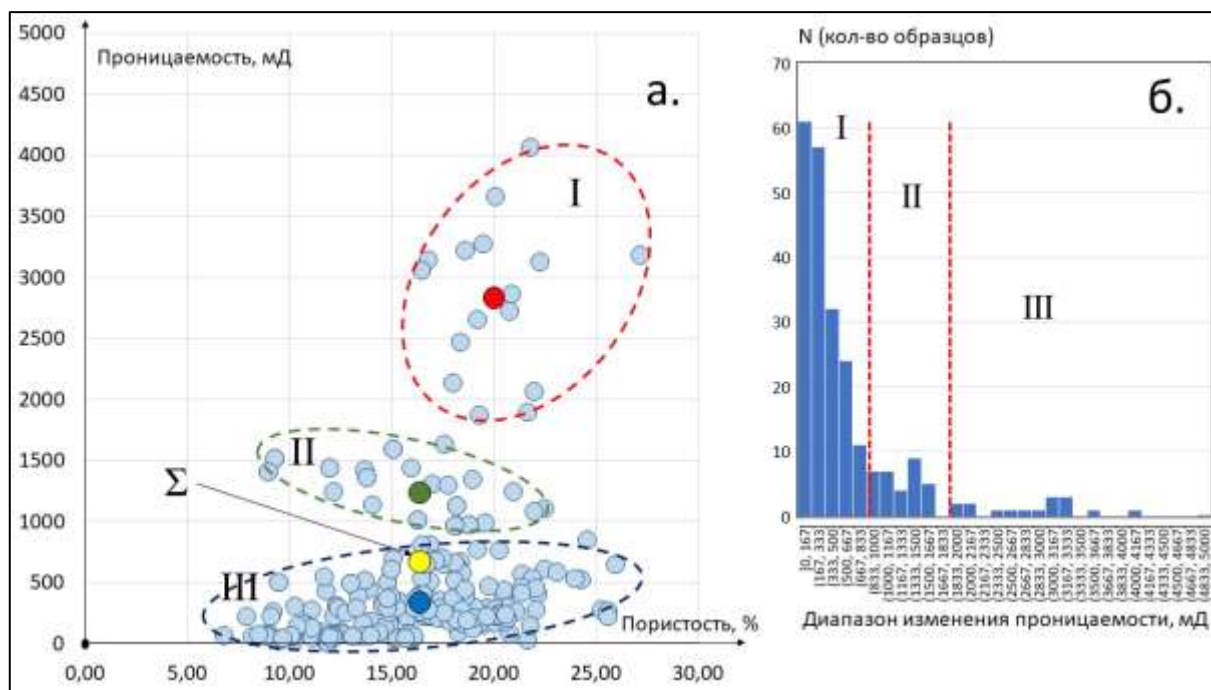
Для выявления возможных локальных групп, на которые разделяются породы пласта, по всей выборки образцов была построена диаграмма взаимозависимости

изменения пористости и проницаемости (рис. 2) Визуально на диаграмме локализовалось три группы образцов, значительно различающихся по своей проницаемости. Значения статистических параметров для всей совокупности и выделенных групп приведены в табл. 1.



**Рис. 1.** Гистограммы пористости (а) и проницаемости (б) горных пород пласта ВЧ, определенных по керну. Общее количество образцов — 232.

**Fig. 1.** Histograms of porosity (a) and permeability (b) of rocks in the VCh formation, determined from core samples. Total number of samples: 232.



**Рис. 2.** Диаграмма взаимозависимости пористости и проницаемости (а) и гистограмма проницаемости (б) горных пород пласта ВЧ. На диаграмме и гистограмме пунктирными линиями выделены группы горных пород; синим, зеленым, красным и желтым цветом указаны точки средних значений для всех групп и всей совокупности.

**Fig. 2.** Porosity-permeability relationship diagram (a) and permeability histogram (b) for rocks in the VCh formation. In the diagram and histogram, rock groups are highlighted by dotted lines; mean values for all groups and the entire population are indicated in blue, green, red, and yellow.

Т а б л и ц а 1

**Статистические параметры групп горных пород пласта ВЧ**

Table 1

**Statistical parameters of rock groups of the RF layer**

Выборка	Кол-во значений	Среднее значение пористости, %	Среднее значение проницаемости, мД	Коэффициент корреляции пористости и логарифма проницаемости	Доля в общей совокупности значений, %
Суммарная	232	16.3	598	0.46	-
Группа I	186	16.0	295	0.53	80
Группа II	30	15.8	1248	0.63	13
Группа III	16	20.2	2835	0.9	7

Выделенные группы значительно различаются по проницаемости и степени их представленности в выборке. Группа 1 представляет около 80 % всех анализируемых образцов и характеризуется проницаемостью от 5 до 840 мД. Группа 2 имеет значительно более высокую проницаемость — от 960 до 1630 мД. Встречаемость этих пород составляет 13 %. Группа 3 характеризуется проницаемостью — от 1870 до 4060 мД, и составляет 7 % суммарной выборки.

Полученные данные показывают, что при равномерном закачивании воды в пласт не будет происходить её равномерного распределения. Вода будет устремляться в пропластки с проницаемостью в 4–9 раз превышающей значения проницаемости для большей части горных пород пласта. Движение воды по высокопроницаемым пропласткам приведет к преждевременному обводнению эксплуатационных скважин.

Для увеличения гидравлического сопротивления и закрытия наиболее проницаемых каналов используются технологии формирования равномерного фронта вытеснения нефти или выравнивания профиля приемистости (ВПП) (Исмаилова, 2018).

Основная идея технологии формирования равномерного фронта вытеснения флюида заключается в том, что в пропластки с различной проницаемостью закачиваются различные химические реагенты. Для участков пород с высокой проницаемостью применяются реагенты, которые снижают проницаемость и тем самым выравнивают профиль приемистости пласта и препятствуют опережающему заводнению этих зон.

На Верхнечонском нефтегазоконденсатном месторождении, были протестированы осадкообразующие реагенты СОНПЛАСТ Б и эмульгатор СОНЭКС Р. Применение осадкообразующих реагентов позволяет создавать зоны с повышенным фильтрационным сопротивлением за счет образования осадка непосредственно при контакте с пластовой водой. Эмульсии представляют собой дисперсные системы, образованных двумя взаимно нерастворимыми друг в друге жидкостями (углеводородная и водная фазы). Водонефтяные эмульсии ограничивают водопритоки. В несколько скважин месторождения были закачаны полимеры,

подобранные в соответствии с проницаемостью пропластков. На всех скважинах был отмечено снижение обводненности скважин.

### **Особенности системы поддержания пластового давления при разработке газоконденсатных месторождений (на примере Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения)**

Магистрантом Б.Ж. Батожаргаловым (научный руководитель А.Ф. Летникова) рассмотрены актуальные аспекты проектирования и эксплуатации системы поддержания пластового давления для газоконденсатных залежей.

Газоконденсатные месторождения характеризуются высокими начальными пластовыми давлениями и сложными фазовыми параметрами углеводородов. Для обеспечения максимальной конденсатоотдачи и продления срока рентабельной эксплуатации месторождения применяются методы ППД, важнейшим из которых является обратная закачка газа в пласт (сайклинг-процесс). Эффективность системы ППД напрямую зависит от правильного выбора оборудования скважин, схемы их обвязки и режимов закачки (Закиров и др., 2025).

Т а б л и ц а 2

### **Конструкция газонагнетательных скважин**

T a b l e 2

#### **Design of gas injection wells**

№ скв.	Назна-чение	Конст-рукция скважины	Глубина спуска, м	Забой	Интервал перфорации (ИП)	Устьевое оборудование	Подземное оборудование
19	Газонагнет.	н — 426	25	2689	2664-2679	ОКК-1М — 219x146x350	НКТ 73М с воронкой
		к — 299	225			АФК6 — 65x350	на глубине 2642
		т/к — 219	1390				
		э/к — 146	2708				
301	Газонагнет.	н — 426	41.7	3017.3	2976-2979 2991.5-3001,5		НКТ 2971.6
		к — 324	283				
		т/к — 245	1154				
		э/к — 168	3028				
303	Газонагнет.	н — 426	43	3562			
		к — 324	372,18				
		т/к — 245	869.78				

		э/к — 168	3150.72			
		х — 114	3368.3			
304	Газонагнет.	н — 426	32	3207		
		к — 324	303			
		т/к — 245	1170			
		э/к — 168	3024			
305	Газонагнет	н — 426	40	2866		
		к — 324	299			
		т/к — 245	1213			
		э/к — 168	2863			
306	Газонагнет.	н — 426	38	3571		
		к — 324	375.01			
		т/к — 245	1432			
		э/к — 168	3069.41			
		х — 114	3569			
322	Газонагнет.	н — 426	46.52	3379		
		к — 324	300.21			
		т/к — 245	885			
		э/к — 168	3378.3			

Конструкция и оборудование газонагнетательных скважин. Проектом дальнейшей разработки Ярактинского НГКМ (Технический..., 2015) предусмотрено бурение семи газонагнетательных скважин, конструкции которых выбираются с учётом геологических условий, ожидаемых рабочих давлений и необходимости защиты эксплуатационной колонны от коррозионного и абразивного воздействия. В таблице 2 представлены параметры конструкции для типовых нагнетательных скважин.

Опыт эксплуатации показывает, что применение пакерной схемы обеспечивает защиту эксплуатационной колонны от коррозии и позволяет проводить ремонт без глушения. Однако наличие пакера усложняет исследовательские работы, а длительное воздействие солевых растворов может привести к отказу циркуляционного клапана (Инструкция..., 2010). Отсутствие телескопического соединения в компоновке вызывает температурные деформации лифтовой колонны и нарушение герметичности резьбы на трубах. В связи с этим при падении пластового давления целесообразен переход на беспакерную эксплуатацию, снижающую трудоёмкость ремонта.

Выбор лифтовых колонн и устьевого оборудования. Для обеспечения выноса жидкости и конденсата с забоя диаметр насосно-компрессорных труб (НКТ) выбирается в зависимости от дебита скважины. Для Ярактинского месторождения рекомендованы следующие типоразмеры:

- НКТ 73 мм — для дебитов до 200 тыс. м<sup>3</sup>/сут;
- НКТ 89 мм — для дебитов свыше 200 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Компоновка лифтовой колонны включает посадочный ниппель, клапан-отсекатель и воронку. Посадочный ниппель предназначен для установки клапана-отсекателя в процессе эксплуатации или глухой пробки при ремонте.

Устье эксплуатационных и нагнетательных скважин оборудуется фонтанной арматурой типа АФК6-80/65x35 К1 ХЛ (производство «Сибнефтегазмаш», г. Тюмень) с рабочим давлением 35 МПа и температурой до 120 °С. Технические характеристики арматуры приведены в таблице 3. Для обвязки обсадных колонн применяется оборудование ОКК1-35-146x219 (эксплуатационные скважины) и ОКК2-350-168x245x324 ХЛ (нагнетательные скважины).

Таблица 3

## Технические характеристики фонтанной арматуры АФК6-80/65x35 К1 ХЛ

Table 3

## Technical characteristics of the AFK6-80/65x35 K1 HL wellhead fittings

Параметр	Значение
Рабочее давление, МПа	35
Температура, °С	120
Условный диаметр обвязываемых труб, мм	-
Условный проход ствола и рабочих струн, мм	80/65

В обвязке скважины предусматриваются стационарные продувочно-задавочные линии, обратные клапаны на линии закачки, клапан-отсекатель на линии отбора, а также манометры и термометры для контроля параметров. Шлейфы рассчитаны на давление 16.0 МПа и оснащаются предохранительными клапанами СППК4-80-160 УХЛ1.

Система закачки газа в пласт (сайклинг-процесс). Основой повышения конденсатоотдачи на Ярактинском НГКМ является сайклинг-процесс — закачка в пласт осушённого газа после извлечения из него тяжёлых компонентов.

Технологическая схема включает:

- установку компримирования газа на площадке УКПГ;
- высоконапорный газопровод к нагнетательным скважинам;

– семь газонагнетательных скважин.

Принцип работы: углеводородный газ давлением 1.5 МПа и температурой 10–40 °С поступает на компрессорную станцию. Для сжатия до 25 МПа используются шесть компрессорных установок R-CA-4735LE-6-3 производства ENERFLEX ENERGY SYSTEMS Inc. Каждая установка включает трёхступенчатый поршневой компрессор Ariel JGU-6/3 и газопоршневой двигатель Caterpillar G3616 TALE. Сжатый газ охлаждается в аппаратах воздушного охлаждения, проходит коалесцентную фильтрацию и направляется в коллектор диаметром 273×28 мм. Давление закачки поддерживается в диапазоне 23–27 МПа, температура на выходе из аппаратов воздушного охлаждения (АВО) — до 48.9 °С. Рабочие параметры компрессорной установки приведены в таблице 4.

Таблица 4

## Рабочие параметры компрессорной установки R-CA-4735LE-6-3

Table 4

## Operating parameters of the compressor unit R-CA-4735LE-6-3

Наименование параметра	Значение
Расчётная производительность на номинальном режиме, нм <sup>3</sup> /ч	35417
Давление на входе в установку, МПа (изб.)	
— расчетное	1.5
— минимальное	1.4
— максимальное	1.8
Температура газа на входе в установку, °С	
— расчетное	25
— минимальная	10

Система автоматического управления регулирует производительность изменением частоты вращения двигателя и открытием байпасного клапана, обеспечивая защиту при аварийных ситуациях.

Таким образом, разработка газоконденсатных месторождений с применением системы ППД требует комплексного подхода к выбору оборудования и технологических решений. На примере Ярактинского НГКМ показано, что:

– использование пакерной схемы на начальном этапе оправдано, но по мере падения давления эффективен переход на беспакерную эксплуатацию;

– для обеспечения выноса жидкости диаметр НКТ должен соответствовать ожидаемым дебитам;

– устьевое оборудование должно быть рассчитано на давление не менее 35 МПа и включать элементы противofонтанной защиты;

– сайклинг-процесс с применением современных компрессорных установок позволяет поддерживать пластовое давление и увеличивать конденсатоотдачу.

Представленные рекомендации могут быть использованы при проектировании систем ППД для аналогичных месторождений.

### ***К вопросу об оценке влияния геологического строения на эффективность буровых работ на Ярактинском нефтегазоконденсатном месторождении***

Магистрантом А.Л. Базаровым (научный руководитель С.П. Примина) проведен анализ влияния геологических особенностей Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) на эффективность буровых работ.

Ярактинское нефтегазоконденсатное месторождение, расположенное на юго-восточном склоне Непско-Ботубинской антеклизы, является важным объектом нефтегазодобычи Восточной Сибири. Его продуктивные горизонты приурочены к нижневендским терригенным отложениям, характеризующимся сложной геологической структурой. (Плюснин, 2019) Актуальность проведенного исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности буровых работ.

Ярактинское НГКМ приурочено к ярактинскому горизонту нижневендских терригенных отложений на юго-западном погружении Непского свода Непско-Ботубинской антеклизы. Относится к Прибайкальской нефтегазоносной провинции. Месторождение многопластовое: продуктивные горизонты образуют несколько разноуровневых залежей. Его строение осложняют трапповые интрузии, литологическая неоднородность

пород и тектонические нарушения, что создаёт дополнительные вызовы при бурении и добыче углеводородов (Плюснин, 2023).

Геологический разрез представлен тремя структурными ярусами: фундаментом, состав породы является кристаллические образования возрастом архей-протерозой; довендский промежуточный комплекс, на Ярактинском месторождении отложения рифея непосредственно не вскрыты, но их присутствие предполагается в региональном плане; и венд-палеозойским осадочным чехлом.

В вендских отложениях, частично — в кембрийских выделяются ряд продуктивных и перспективных горизонтов. Промышленные запасы нефти и газа приурочены к терригенным отложениям ярактинского горизонта (нижний венд) и частично к карбонатным породам осинского горизонта усольской свиты (нижний кембрий). Перспективными являются вендские терригенные комплексы (непская и тирская свиты) и межсолевые пласты бельской и ангарской свит кембрия.

Основные запасы нефти и газа месторождения связаны с ярактинским горизонтом, представленным терригенными отложениями непской свиты вендского возраста. Горизонт включает в себя два пласта: верхний — Я<sub>1</sub> и нижний — Я<sub>2</sub>, разделенные глинистой перемычкой. Пласт Я<sub>2</sub> сложен кварцевыми и полевошпатокварцевыми песчаниками, местами гравелитистыми. Общая толщина пласта меняется от 3 до 35 м (увеличивается в южном направлении, уменьшается на северо-западе). В ряде скважин коллектор замещён плотными непроницаемыми породами (аргиллитами, глинистыми алевролитами) или сильно уплотнён в зонах развития трапповых интрузий. Пласт Я<sub>1</sub> представлен кварцевыми, хорошо отсортированными песчаниками с прослоями алевролитов. Общая толщина пласта составляет от 2 до 20 м. Прослои глинисто-алевролитовых пород встречаются редко, их толщина 0.3–0.8 м. В центральной и южной частях площади месторождения пласты Я<sub>1</sub> и Я<sub>2</sub> разделяются глинистой перемычкой толщиной от 1,5 до 7 м, представленной аргиллитами зеленовато-серых и тёмно-серых оттенков. В северо-западной части месторождения перемычка часто выклинивается, и пласты сливаются в единый песчаный массив.

На Ярактинском месторождении выявлены залежи четырёх типов: пластовые, стратиграфически экранированные, литологически экранированные и тектонически экранированные. Продуктивные отложения связаны с ярактинской пачкой (переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов). В разрезе выделено пять нефтяных, четыре нефтегазоконденсатных и одна газовая залежь, распределённые по трем продуктивным пластам. Характерная особенность — высокая лито-фациальная изменчивость пород по площади.

По данным исследований, а также по результатам ГИС, пористость отложений Ярактинского месторождения варьируется: в среднем составляет 6.0–10.0 %, максимальные значения достигают 16.0–19.0 %. Проницаемость в среднем — 85 мД, с максимумом до 1165 мД; в большинстве разрезов преобладают значения 10–100 мД. Пористость нефтенасыщенной части варьируется в диапазоне 6.0–10.0 %, с локальными максимумами до 16.0–19.0 %, а газонасыщенной части в среднем составляет 5.0–9.0 %, с локальными максимумами до 14.0–16.0 %.

Одним из главных необходимых условий для проведения буровых работ на месторождении является определения его геологического строения. Ярактинское НГКМ является тому примером, неравномерность геологического строения напрямую влияет на выбор методов бурения, конструкции скважин и буровых растворов. Неравномерность литологического состава, изменчивость коллекторских свойств, тектонические нарушения, аномальные пластовые давления и неоднородность флюидонасыщения определяют необходимость адаптации буровых технологий.

Тектонические нарушения на Ярактинском НГКМ связаны с глубинными разломами, неоднородностью фундамента и трапповым магматизмом. Эти факторы существенно повлияли на геологическое строение месторождения, распределение продуктивных отложений и формирование залежей углеводородов. По данным гравиметрических исследований, проведённых в 1969–1972 годах, площадь Ярактинского месторождения приурочена к зоне глубинных разломов меридионального направления.

Неоднородность фундамента, сложенного породами разного состава, плотности и намагниченности, носит зональный характер. Разломы способствовали дроблению структуры, образованию блоков с различным насыщением коллекторов и могли влиять на миграцию углеводородов. Породы фундамента на Ярактинском месторождении представлены гранитами, гранодиоритами, а также в меньшей мере хлоритово-серицитовыми и хлоритово-амфиболитовыми сланцами. Их возраст — рифейский. Неоднородность фундамента создала условия для локального контроля распределения отложений и формирования ловушек углеводородов. В центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы распространены интрузивные тела долеритов (траппов), которые внедрялись в среднюю часть осадочного чехла. Трапповые тела, залегающие выше продуктивных горизонтов, могли экранировать потоки углеводородов, препятствовать свободной циркуляции вод и влиять на минерализацию пластовых вод. Гидротермальная деятельность вблизи магматических тел изменяла минеральный состав пластовых вод, что могло приводить к вторичным преобразованиям пород (например, сульфатизации, засолонению). Тектонические нарушения определили литологическую неоднородность ярактинского горизонта, блоковое строение залежей, изоляцию отдельных нефтегазоносных зон и перераспределение давлений.

Траппы (трапповый магматизм) на Ярактинском нефтегазоконденсатном месторождении оказали значительное влияние на геологическое строение, распределение углеводородов и условия их накопления. Это влияние имело как положительные, так и отрицательные аспекты, что породило определённые проблемы в разработке месторождения. Трапповые тела, залегающие в осадочном чехле, препятствовали свободной циркуляции вод в разрезе. Это способствовало повышению минерализации пластовых вод в подтрапповых осадочных породах. Вблизи остывающих магматических тел происходили гидротермальные процессы. Они влияли на минеральный состав пластовых вод, обогащая их кремнезёмом. В породах могло происходить выпадение минералов группы кремнезёма из кремнистых

растворов, сопровождавших внедрение трапповых тел. Трапповые тела, развитые на нескольких стратиграфических уровнях (в основном в соленосно-карбонатных отложениях), значительно осложняли структуру осадочного чехла. Это затрудняло прогнозирование залежей и планирование разработки. Трапповый магматизм затруднял прогнозирование наличия и масштабов залежей углеводородов. Необходимо было учитывать сложное взаимодействие между интрузиями, битуминозностью вмещающих отложений и другими факторами. При бурении скважин отмечались значительные поглощения раствора при прохождении траппов. Это затрудняло процесс бурения и увеличивало его стоимость. Для решения этих проблем потребовалось: анализ гипсометрического

положения трапповых силлов относительно залежей позволил выявить аномалии, которые могут использоваться как дополнительный критерий при поисках нефти и газа, внедрялись технологии ингибирования солеотложений (ИСО) и использовались альтернативные растворители для удаления гипсовых и других отложений в призабойной зоне пласта, применялись методы обработки призабойной зоны пласта (ПЗП) с учётом типа кольматанта и свойств пластовой воды. Выбор реагентов основывался на данных о составе попутно добываемых вод и истории работы скважины.

Рассмотрим два примера скважин, пробуренных на Ярактинском месторождении, с разными геологическими условиями и технологиями бурения (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

**Сравнительный анализ двух скважин**

Table 5

**Comparative analysis of two wells**

Параметр	Скважина № 1	Скважина № 2
Тип скважины	Вертикальная	Горизонтальная с горизонтальным участком 900 м
Геологические условия	Устойчивые породы, однородное строение	Неоднородное строение, АВПД, тектонические нарушения
Технология бурения	Роторное бурение	Наклонно-направленное с забойным двигателем
Буровой раствор	Пресный кольматирующий	Ингибирующий хлоркалийевый
Конструкция	4 колонны	4 колонны + хвостовик с фильтрами
Вскрытие пласта	Перфорация на депрессии	Многостадийный ГРП
Дебит нефти	85 м <sup>3</sup> /сут	60 м <sup>3</sup> /сут (после ГРП)
Время бурения	28 дней	45 дней
Осложнения	Минимальные	Прихваты, поглощения

Скважина № 1 вертикальная, участок с устойчивыми породами и скважина № 2 горизонтальная, участок с неоднородным строением. Первая скважина расположена в юго-восточной части месторождения, куст № 52, глубина по стволу 1850 м. Геологическое строение обусловлено песчаниками и карбонатными породами средней крепости. Пористость 15–18 %, проницаемость 200–500 мД, пластовое давление 18.5 Мпа близко к гидростатическому. Отсутствие тектонических нарушений в интервале бурения, флюидонасыщенный горизонт однородный. Скважина пробуривалась роторным типом с вращением всей бурильной колонны. Буровой раствор пресный профилактический с кольматирующими добавками (мел, целлюлоза) для

предотвращения кавернообразования. Плотность раствора — 1,15 г/см<sup>3</sup>. В результате дебит нефти 85 м<sup>3</sup>/сут., дебит конденсата: 15 т/сут., время бурения 28 дней, осложнения минимальные (кратковременные затяжки инструмента в интервале 1600–1650 м из-за сужения ствола).

Вторая скважина расположена в северо-западной части месторождения, куст № 212, глубина по стволу 2150 м, длина горизонтального участка — 900 м. Геологическое строение обусловлено чередованием аргиллитов, алевролитов и тонких пропластков песчаника. Пористость 8–12 %, проницаемость 5–30 мД, пластовое давление 22 Мпа (аномально высокое). Наличие тектонического разлома в интервале 1900–2000 м,

линзовидное распределение углеводородов. Бурение происходило путем наклонно-направленного с горизонтальным окончанием, с применением забойного двигателя и телесистемы MWD для геонавигации. Буровой раствор ингибирующий хлоркалийевый с полисахаридным реагентом. Плотность — 1.25 г/см<sup>3</sup> для компенсации АВПД. В зонах поглощения добавляли наполнитель (ореховая скорлупа). В результате дебит нефти после ГРП: 60 м<sup>3</sup>/сут. (в 2.5 раза выше прогнозируемого для вертикальной скважины), дебит конденсата: 20 т/сут., время бурения 45 дней (увеличение сроков из-за корректировки траектории), осложнения: прихваты

инструмента в интервалах с аргиллитами (устранены расхаживанием) и частичное поглощение раствора в зоне разлома (устранено добавлением наполнителя).

Таким образом выбор технологии бурения напрямую зависит от геологических условий. Для устойчивых пород эффективна вертикальная скважина с роторным бурением, а для сложных участков с низкой проницаемостью — горизонтальная скважина с ГРП и геонавигацией.

Проведем сравнение двух нефтегазоконденсатных месторождений — Ярактинского и Астраханского (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

## Сравнение двух нефтегазоконденсатных месторождений

Table 6

## Comparison of two oil and gas condensate fields

Параметр	Ярактинское месторождение	Астраханское месторождение
Пористость	3–12 % (зависит от фациальных условий)	3–14 % (неоднородно распределена, преобладает 8–12 %)
Проницаемость	10–100 мД (снижается в подошвенных частях)	0.001–1.0×10 <sup>-15</sup> м <sup>2</sup> (зависит от трещиноватости)
Тип коллектора	Терригенный (песчаники), трещинно-поровый	Карбонатный (известняки, доломиты), порово-трещинный
Факторы, влияющие на ФЕС	Литологическая неоднородность, глинизация, цементация	Трещиноватость, отсутствие глинистых слоёв, локальность высокопористых зон

На ярактинском горизонте наблюдается литологическая неоднородность (Сабанчин, 2015). В коллекторах отложений баров приливно-отливной равнины пористость преимущественно составляет 3–6 %. В распределительных субаквальных каналах пористость выше — от 9 до 12 %. Уменьшение песчаности в восточном направлении за счёт обогащения разреза глинисто-алевритистыми прослоями и увеличения содержания глинистого цемента приводит к ухудшению фильтрационно-ёмкостных свойств (ФЕС). В коллекторах отложений баров приливно-отливной равнины проницаемость варьируется от 10 до 100 мД. В распределительных субаквальных каналах проницаемость аналогична — от 10 до 100 мД, но ухудшается в подошвенных частях. Несмотря на относительно высокие значения пористости в субаквальных каналах, ФЕС оцениваются как низкие

из-за негативного влияния карбонатизации, ангидритизации и локального присутствия глинистого цемента (Коновальцева, 2010), а также из-за малого размера пор, не обладающих хорошей пропускной способностью.

Средневзвешенная по эффективной газонасыщенной толщине пористость Астраханского газоконденсатного месторождения изменяется от 3.0–6.0 до 14 % и выше. Участки с пористостью более 12 % имеют локальное распространение и занимают около 3 % площади в склоновых и присводовых частях поднятия. Около 80 % разреза представлено коллекторами средней ёмкости с пористостью от 8 до 12 %. Проницаемость варьируется от 0.001 до 1.0×10<sup>-15</sup> м<sup>2</sup>. Наличие достаточно высоких дебитов эксплуатационных скважин при сравнительно низкопористом разрезе свидетельствует о существенной роли трещиноватости в обеспечении проницаемости

разреза. Особенности данного месторождения карбонатные пласты крайне неоднородны, глинистые слои отсутствуют. Пласты с высокой пористостью и проницаемостью образуют отдельные, изолированные линзы в пределах подсолевого разреза. Трещинная и каверновая ёмкости имеют подчинённое значение, основную долю в продуктивном разрезе составляет поровый тип коллектора.

Таким образом, на Ярактинском месторождении ФЕС определяются преимущественно литологической неоднородностью и степенью цементации. На Астраханском месторождении ключевую роль играет трещиноватость, которая компенсирует относительно невысокую пористость матрицы карбонатных пород. Оба месторождения демонстрируют пример того, как геологические условия формируют фильтрационно-ёмкостные свойства коллекторов, что важно учитывать при разработке.

В заключение следует отметить, что в результате анализа геологического строения Ярактинского НГКМ установлена его неравномерность, обусловленная литологической неоднородностью, тектоническими разломами, трапповыми интрузиями и изменчивостью ФЕС (пористость 6.0–10.0 %, локально до 19 %, проницаемость 10–100 мД, максимум до 1165 мД). Эта неравномерность напрямую влияет на выбор технологии бурения. В зонах с устойчивыми породами эффективно вертикальное роторное бурение с пресными кольматирующими растворами, что обеспечивает дебит до 85 м<sup>3</sup>/сут и имеет продолжительность около 28 дней. В сложных участках с АВПД и низкой проницаемостью (5–30 мД) более оправдано наклонно-направленное бурение с горизонтальным окончанием и многостадийным ГРП — такой подход даёт дебит 60 м<sup>3</sup>/сут. после ГРП, хотя и требует больше времени (45 дней). Таким образом, адаптация буровых технологий под конкретные геологические условия позволяет минимизировать осложнения, повысить дебит скважин и обеспечить рациональную разработку месторождения.

### **Анализ осложнений в процессе строительства скважин на Ковыктинском газоконденсатном месторождении**

Магистрантом Д.А. Дамбаевым (научный руководитель С.П. Примина) рассмотрены осложнения, возникающие в процессе бурения на Ковыктинском газоконденсатном месторождении при вскрытии объектов с аномально высоким пластовым давлением (АВПД) приуроченных к галогенно-карбонатной гидрогеологической формации.

Ковыктинское газоконденсатное месторождение (ГКМ) — крупнейшее на Востоке России по запасам газа (Белонин, 2006) является базовым для формирования Иркутского центра газодобычи и ресурсной базой для газопровода «Сила Сибири» наряду с Чайндинским месторождением в Якутии.

В целом, на месторождении состояние техники и технологии проведения геологоразведочных работ находится на достаточно высоком уровне. Буровые работы производятся филиалом ООО «Газпром-Бурение», филиал «Оренбург бурение-Восточная Сибирь».

Актуальность проведенного исследования связана с тем, что бурение скважин — сложный процесс, который требует учета множества факторов, включая геологические условия, технические характеристики оборудования и экологические аспекты (Мандельбаум, 2005). Таким образом, анализ осложнений и рисков при бурении скважин играет ключевую роль в обеспечении безопасности, экономической выгоды и экологической устойчивости проектов в области газо- и нефтедобычи.

Условия бурения глубоких скважин на территории юга Сибирской платформы оцениваются как «сложные» ввиду присутствия в части разреза осадочного чехла в карбонатно-галогенной толще кембрия пластов коллекторов и в терригенно-карбонатной толще венда парфеновского горизонта пластов коллекторов, которые могут характеризоваться либо поглощениями бурового раствора, либо аномально высокими

пластовыми давлениями (АВПД) флюидов. При проходке бурением зоны АВПД высока вероятность возникновения аварийной ситуации — от повреждения буровой колонны, буровой установки до потери скважины.

Геологические нарушения нормального процесса строительства скважины, которые требуют принятия безотлагательных и эффективных мер для их устранения и продолжения процесса бурения, называется осложнением. При этом предполагается, что требования технического проекта на строительство скважин выполняются. К основным видам осложнений относят:

- 1) газонефтеводопроявления (ГНВП);
- 2) рапопроявления и выход сероводорода;
- 3) поглощение буровых и тампонажных растворов при бурении.

Газонефтеводопроявление — это непредвиденный выброс смеси газа, нефти и воды на поверхность, внутрь скважины или в колонное пространство в результате бурения или эксплуатации скважины. Это может происходить из-за сбоя оборудования, высокого пластового давления, нарушения целостности скважины или технических проблем. ГНВП может представлять опасность для

окружающей среды, а также для работников и оборудования на месторождении.

Признаки газонефтепроявления на скважине могут значительно влиять на параметры добычи из-за изменений в свойствах промысловой жидкости и давления выходящей нефти. В зависимости от интенсивности и продолжительности поступления газа и воды, на поверхности скважины образуются определенные признаки (рис. 3), свидетельствующие о наличии ГНВП. К ним относятся:

- увеличение объема промысловой жидкости в системе циркуляции;
- значительный рост скорости механического бурения за счет снижения трения;
- повышение уровня промысловой жидкости в системе циркуляции во время спуска рабочего инструмента;
- постоянный газовый поток в жидкости, который постепенно увеличивается;
- снижение плотности рабочей жидкости из-за поступления воды через стенки скважины.
- изменение давления в насосах вследствие проникновения газа или воды в скважину;
- увеличение скорости циркуляции промысловой жидкости под действием давления пластовых газа или воды.

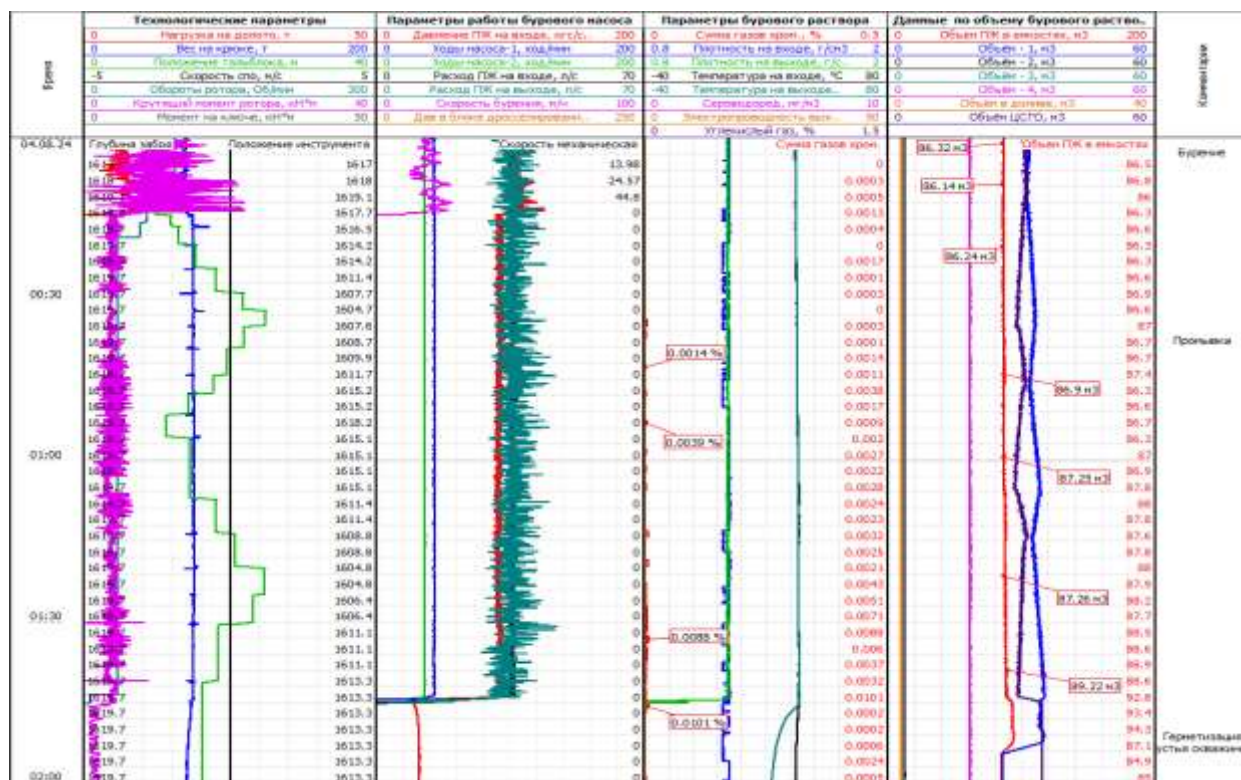


Рис. 3. Технические параметры скважины с газонефтеводопроявлением.

Fig. 3. Technical parameters of wells from the oil gas water showings.

При обнаружении первых признаков газонефтеводопроявления необходимо оперативно приступить к мерам по его устранению. При обнаружении ГНВП требуется провести герметизацию устья, ствола и канала скважины, а также незамедлительно информировать руководство о ситуации. После подтверждения факта газонефтеводопроявления вызывается специализированная бригада для его ликвидации. К работам по устранению ГНВП допускаются только квалифицированные рабочие и специалисты, прошедшие специальное обучение и углубленную подготовку по вопросам ликвидации и профилактики аварий. Ликвидация ГНВП проводится с использованием специального оборудования, которое позволяет спустить в ствол буровые трубы при высоком давлении. С целью остановки газонефтеводопроявления одновременно создается оптимальное выравнивающее давление в стволе, равное или превышающее пластовое. Если во время спуска оборудования возникает фонтанирование из-за газонефтеводопроявления, принимаются меры по его глушению в соответствии с аварийным планом. В этом случае потребуются дополнительное привлечение

представителей органов технического надзора.

Рапопроявление – это выход в скважину из недр земли перенасыщенного гелеобразного солевого раствора, напоминающего гель. Подземная рапа образуется в зонах контакта пластов каменной соли с водонасыщенными грунтами (Аверкина, 2007). Рапопроявление существенно осложняет процесс бурения. Также фонтанирование рапы часто сопровождается выделениями газов, включая сероводород, в объемах, существенно превышающих ПДК. Как правило, зоны рапоакпления имеют аномально высокие пластовые давления.

Рассолы, в зависимости от условий образования, бывают двух типов:

- седиментационные (сформированные в результате сохранения или накопления маточных растворов);

- рассолы выщелачивания (образованные вследствие растворения и выщелачивания в проникающие воды соляных отложений).

Осложнения, которые возникают в результате рапопроявления:

- фонтанирование скважины;

— деформация обсадных колонн из-за высоких пластовых давлений;

— прихваты бурильных труб в условиях образования соляных пробок;

— коррозия обсадных колонн и цементного камня из-за высокой минерализации рассола;

— коагуляция буровых растворов и ухудшение их свойств;

— гидроразрыв вышележащих пластов, состоящих из слабосцементированных пород.

Еще одной проблемой при проходке являются используемые буровые долота и несовершенные системы очистки. Из-за них в растворе увеличивается концентрация мелкодисперсной фазы горной породы, повышая его плотность. Для возвращения ее к проектному значению, раствор разбавляют, это снижает концентрации полимеров, ухудшая ингибирующие способности раствора. Как следствие, интенсивность растворения галита и осмотических и диффузионных процессов растёт.

Выделяют две гипотезы причин осложнений при бурении карбонатно-галогеновых формаций:

— пластическое течение солей, вызывающее смятие обсадных колонн;

— наличие зон АВПД.

Выделяют два типа факторов возникновения рапопроявлений:

1) Геологический. Соли гравитационно уплотняются, в результате чего минералы перекристаллизуются, гидратируются или дегидратируются, активно захороняется рапа, в силу изменяющихся гидродинамических и гидрохимических условий и заполняющихся межсолевых прослоев.

2) Технологический. Фактор интенсивности рапопроявлений, порождаемый воздействиями бурового раствора на пропластки в соляной толще. Еще одной технологической причиной является эффект поршневания, возникающий при спуско-подъемных операциях ввиду уменьшения гидростатического давления в скважине. Рапопроявления

также возникают после гидроразрыва пласта, причиной которого является высокая эквивалентная циркуляционная плотность, причем поглощение начинается только после полной остановки циркуляции раствора.

Проблемы рапопроявлений при бурении являются весьма актуальными для территорий с наличием соленосных пород. Они встречаются в Ангарско-Ленском бассейне, на территории Восточно-Кубанской и Прикаспийской впадин, Припятском и Предкарпатском прогибах, в Днепровско-Донецкой и Аму-Дарьинской впадинах. Этот вопрос не решен и до сегодняшнего дня. Примеры проблемных скважин на месторождениях Восточной Сибири представлены в таблице 7.

В основном используют 2 способа борьбы с рапопроявлениями: увеличение плотности раствора и разрядка рапопроявляющего горизонта. Однако при повторном вскрытии пласта в результате его закупорки седиментирующей рапой дебиты значительно растут и увеличение плотности приводит лишь к поглощению. Кроме того, при утяжелении раствора вероятность возникновения прихватов повышается.

Ликвидация осложнений путем разрядки рапопроявляющего горизонта также малоэффективна, поскольку полностью он не истощается, а за это время раствор полностью приходит в негодность. Более того, даже после длительного проявления пласта, давление в нем выше подстилающего горизонта. Данный метод продуктивен лишь при линзовидном локальном скоплении рапы с малой энергией. Однако при бурении в Оренбургском геологическом районе данный метод хорошо себя проявил. Это связано с геологическими особенностями: в некоторых местах под линзами рапы залегают толщи песчаников высокой проницаемости с надежными экранами из глинистых пород. Эти пласты использовались в процессе бурения как резервуар, в который перетекала (поглощалась) рапа из линзы.

## Примеры проблемных скважин на площадях Восточной Сибири

Table 7

## Examples of problem wells in the areas of Eastern Siberia

Месторождение, площадь	№ скв.	Стратиграфическая приуроченность	Вид осложнения	Экологические последствия
Верхоленская	131	-	Фонтан сероводородного рассола дебитом 700 м <sup>3</sup> /сут.	Колонна бурильных труб выдавлена из скважины
Рудовская	176	Усольская свита	Аварийный фонтан рассола дебитом 3000 м <sup>3</sup> /сут. с сероводородом	Концентрация сероводорода 6-10 ПДК
Омолойская	13	Балыхтинский горизонт	Аварийный выброс рапы дебитом 7600 м <sup>3</sup> /сут.	-
Балаганкинская	2	-	Фонтан сероводородного рассола дебитом 1080 м <sup>3</sup> /сут.	Скважина фонтанировала в течение года
Знаменская	3р	Усольская свита	Рапопроявление дебитом 7000 м <sup>3</sup> /сут., смятие ОК	Скважина фонтанировала 2 месяца
Купская	2	Траппы	Поглощение с потерей циркуляции	-
Ковыктинское ГКМ	18	Христофоровский горизонт	Аварийное интенсивное рапопроявление дебитом 5000 м <sup>3</sup> /сут.	-
	3	Ангарская свита	Рапопроявление дебитом 110 м <sup>3</sup> /сут., смятие ОК, скважина не достигла проектного забоя	К <sub>а</sub> — 1.89

Выход сероводорода. H<sub>2</sub>S — бесцветный газ, очень ядовитый и имеющий характерный запах гниющего белка. Сероводород встречается в вулканических газах и водах минеральных источников. Образование его происходит также в результате деструктивного разложения органических сернистых отложений, находящихся в материнских породах и коллекторах углеводородов. Сероводород оказывает отрицательное действие на организм человека, на оборудование и на свойства буровых растворов. Отметим, что при длительном вдыхании воздуха, содержащего этот газ, даже в небольших количествах вызывает тяжелые отравления человека. Кроме того, под влиянием этого газа возможна коррозия металла, которая проявляется в зависимости от свойств и времени контакта с газами.

Поглощение промывочной жидкости. Одну из главных трудностей на Ковыктинском газоконденсатном месторождении составляют поглощения промывочной жидкости в интервале верхоленской, илгинской и литвинцевской свит.

Анализируя данные из архивных дел пробуренных разведочных скважин на КГКМ,

выявлено, что границы интервала 0–350 м расположены полностью или частично в размытых отложениях ордовика. Породы, слагающие интервал поглощений, характеризуются низкими значениями эквивалентов градиентов пластовых давлений. Интенсивность поглощения от 4–10 м<sup>3</sup>/час до полной потери циркуляции. Статические уровни промывочного агента в скважинах на 3–10 м выше кровли поглощающих пластов или равны текущему забою скважины при проводке стволов скважин в ордовикских отложениях. Вскрытые зоны поглощения характеризуются различной степенью сложности их ликвидации.

По мнению К.В. Бузанова: «Проектными решениями в данном проблемном интервале предусмотрено крепление ствола скважины и изолирование пластов секциями направления, кондуктора и технической колонны. Уточненный интервал несовместимости условий бурения 0–900 м, где глубина 900 м является подошвой верхоленской свиты, целесообразно разбить на две зоны: 0–350 м и 350–900 м. Данное деление необходимо для обеспечения научно-методического подхода

исследованию проблем поглощений промывочной жидкости» (Бузанов, 2018).

Частичные поглощения необходимо ликвидировать путем закачки глинистых паст с набором наполнителей и тампонирующим скважины. Проводку скважин с осложнениями — катастрофическими потерями рабочего агента — осуществлять на технической воде без выхода циркуляции или на пене (газожидкостной смеси) при подаче бурового насоса 2 л/с, компрессора — 100 л/с с последующим спуском кондуктора.

Степень сложности ликвидации осложнения предусматривала нетрадиционные меры по организации дальнейшей проходки ствола скважины в осложненных условиях: переход на очистной агент — пену с дальнейшим перекрытием зоны поглощения обсадной колонной. Из результатов проведенного анализа имеющегося опыта бурения разведочных скважин на КГКМ следует, что основными трудностями при бурении пород слагаемых пачек являются поглощения промывочной жидкости вследствие

гидроразрыва ослабленных зон пачек. Однако, наблюдались случаи эффективности проведения операций по ликвидации поглощения промывочной жидкости в ослабленных зонах по технологии закупорки каналов поглощения не твердеющими и твердеющими растворами с набором фракций наполнителей, подобранными по технологии идеальной закупорки каналов трещинного типа (установка пачек с наполнителями объемом от 30 м<sup>3</sup> до 160 м<sup>3</sup> в интервал поглощения ослабленной зоны). Проводка двух скважин осуществлялась с полным поглощением промывочной жидкости, расширением ствола скважины, установки расширенного интервала осложненного участка ствола скважины оборудования для локального крепления скважин (ОКЛС). Способ ликвидации осложнения установкой ОКЛС применен на скважинах №№ 71, 68 Ковыктинского ГКМ.

Результаты анализа данных о частоте поглощения промывочной жидкости пробуренных разведочных скважин на КГКМ, представлены в таблице 8.

Т а б л и ц а 8

#### Частота поглощения промывочной жидкости на скважинах КГКМ

T a b l e 8

#### Frequency of absorption of washing liquid at wells

№ п/п	Характеристика осложнений		Количество скважин, шт.
1.	ордовик	Поглощение промывочной жидкости	31
2.		Поглощение с неполной циркуляцией	15
3.		Поглощение с полной циркуляцией	17
4.	илгинская, верхоленская свиты	Поглощение промывочной жидкости	43
5.		Частичная потеря циркуляции	20
6.		Катастрофическое поглощение	23
7.	литвинцевская свита	Поглощение промывочной жидкости	34
8.		Частичная потеря циркуляции	13
9.		Катастрофическое поглощение	11

Таким образом, в интервале от 0 до 350 м осложнения встречаются на 31 скважине, что составило 79 % анализируемых скважин, и 77 % скважин характеризуются различными осложнениями в связи с поглощением промывочной жидкости разной степени на глубине от 350 до 900 м.

На основании анализа данных по скважинам было выявлено, что главной причиной поглощения промывочной жидкости служит наличие гидродинамической системы «скважина — пласт». Поглощение промывочной

жидкости возникает при воздействии избыточного давления в направлении вглубь пласта или в сторону скважины, приложенного к системе «скважина — пласт». Следует отметить, что проводка ствола скважины на КГКМ (0–900 м) ведется в условиях возникновения поглощения промывочной жидкости с вероятностью более 77 %.

В результате анализа была разработана краткая характеристика мероприятий, направленных на ликвидацию осложнений

при бурении скважин, которая представлена в таблице 9.

Т а б л и ц а 9

**Мероприятия по ликвидации осложнений при бурении скважин**

T a b l e 9

**Measures to eliminate complications during well drilling**

№ п/п	Вид осложнения	Технологические особенности ликвидации
1.	Газонефтеводопроявления (ГНВП)	герметизация устья, ствола и канала скважины; создание оптимального выравнивающего давления в стволе, равное или превышающее пластовое; использование управляемого бурения с контролем давления (Managed Pressure Drilling, MPD)
2.	Рапопроявления	переход на использование утяжеленного бурового раствора плотностью 1920–2300 кг/м <sup>3</sup> ; выдержка скважины на самоизливе и множественные проходки ствола для пробивки соляных пробок; использование состава с разными сроками схватывания для лучшего сцепления тампонажа с породой
3.	Выход сероводорода	применение шлакопесчаных и цемента-шлакопесчаных смесей с добавкой тонкомолотого песка, содержащих минимальное количество оксидов железа и алюминия; очистка воды реагентами: озон, гипохлорит натрия и перекись водорода; использование аэрационной установки; при аэрации вода с сероводородом взаимодействует с кислородом, содержание серы снижается до допустимых значений
4.	Поглощение бурового раствора	крепление ствола скважины и изолирование пластов с секциями направления, кондуктора и технической колонны; при частичном поглощении проведение закачки глинистых паст с набором наполнителей и тампонируванием скважины; подбор рецептур очистного агента; могут применяться газо-жидкостные смеси и пена

**Прямые признаки нефтегазоносности Сибири: анализ, методы выявления и прогнозное районирование**

Магистрантом Л.А. Ивановой (научный руководитель С.П. Примина) проведена комплексная оценка прямых признаков нефтегазоносности Сибири, анализ их связи с геологическим строением региона и систематизация методов выявления и прогнозного районирования перспективных земель.

Сибирь занимает уникальное положение в мировой системе углеводородного сырья. На её территории сосредоточены гигантские запасы нефти и газа, сосредоточенные в сложнопостроенных осадочных бассейнах. Длительная история геологического развития, разнообразие тектонических структур и фациальных условий предопределяют неравномерность распределения залежей и

необходимость применения эффективных методов их прогнозирования.

Прямые признаки нефтегазоносности — это непосредственные проявления углеводородов на поверхности или в приповерхностных горизонтах: нефтяные линзы и плёнки, газовые выделения, аномальные концентрации углеводородов в почвах, подземных водах и донных отложениях, а также изменения растительного покрова, вызванные миграцией газа и нефти. Эти признаки служат ключевыми индикаторами при поисково-разведочных работах, особенно на ранних стадиях изучения территорий.

Территория Сибири охватывает древние платформенные области, складчатые пояса и молодые эпипалеозойские плиты (Смирнов, 2008). В тектоническом плане здесь выделяются Западно-Сибирская плита, Сибирская платформа (с Алданским и Анабарским щитами), Таймыро-Североземельская

складчатая область и Верхояно-Чукотская складчатая система. Такое разнообразие определяет широкий спектр нефтегазоносных бассейнов и типов ловушек.

Западная Сибирь представляет собой крупнейшую эпигерцинскую плиту с мощным (до 5–7 км) осадочным чехлом мезозойско-кайнозойского возраста. В разрезе преобладают морские и прибрежно-континентальные отложения: песчаники, алевролиты, глины с прослоями известняков и углей. Основные продуктивные горизонты приурочены к антиклинальным структурам и зонам выклинивания, что создаёт благоприятные условия для накопления углеводородов. Прямые признаки нефтегазоносности здесь часто проявляются в виде обширных геохимических аномалий, плёнок нефти на поверхности озёр и болот, а также газо- и нефтепроявлений в долинах рек.

Восточная Сибирь отличается сложным строением: Сибирская платформа перекрыта венд-кембрийскими карбонатно-терригенными отложениями, а на востоке и юге обрамляется мезозойскими складчатыми сооружениями. Нефтегазоносность связана с рифейскими и венд-кембрийскими комплексами. Вследствие интенсивных тектонических движений и траппового магматизма залежи часто литологически и тектонически экранированы. Прямые признаки нефтегазоносности имеют локальный характер, приурочены к зонам разломов и участкам трещиноватости.

Северная Сибирь включает арктические районы Таймыра, Гыданского и Ямальского полуостровов, Севера Якутии. Здесь развиты мощные толщи мезозойских и кайнозойских отложений, во многом ещё слабо изученные. Признаки нефтегазоносности нередко маскируются многолетней мерзлотой, но фиксируются по аномалиям газового состава приповерхностных отложений, газогидратам и криогенным структурам.

Таким образом, разнообразие геологических условий требует дифференцированного подхода к выявлению и интерпретации прямых признаков в каждом регионе.

Прямые признаки нефтегазоносности по природе происхождения можно разделить на несколько групп:

- Нефтепроявления: выходы жидкой нефти на поверхность (в родниках, руслах рек, озёрах), нефтенасыщенные породы в обнажениях, битумные озёра.

- Газопроявления: выделения свободного газа (пузырьки в воде, грифоны), грязевые вулканы, газовые факелы, повышенные концентрации углеводородных газов в почвенном воздухе.

- Геохимические аномалии: присутствие растворённых углеводородов, органических кислот, фенолов, повышенное содержание йода, брома, бора в подземных и поверхностных водах.

- Геохимические аномалии в твёрдой фазе: повышенное содержание битумоидов, углеводородов, сорбированных в породах и почвах.

- Геофизические аномалии: локальные изменения плотности, магнитной восприимчивости, электрического сопротивления, скоростей упругих волн, связанные с миграцией флюидов.

- Биогеохимические и ландшафтные признаки: изменения состава растительности (угнетение или, наоборот, пышное развитие некоторых видов), ореолы рассеяния микроэлементов, специфические формы микрорельефа.

Механизмы формирования признаков нефтегазоносности включают вертикальную миграцию углеводородов по проницаемым зонам (разломы, трещины, литологические окна), диффузию, эффузию, вынос подземными водами и др. На интенсивность проявления влияют свойства флюидов, фильтрационно-ёмкостные характеристики пород, гидродинамический режим и климатические условия.

Современный комплекс методов обнаружения прямых признаков нефтегазоносности включает:

- Полевые наблюдения — визуальное обследование поверхности (водоёмов, обнажений, почвенных разрезов) с отбором проб на газовый и люминесцентный анализы. Наиболее эффективны в Западной Сибири, где густая гидросеть и заболоченность способствуют проявлению признаков.

- Геохимические методы (Васильев, 2008): газогеохимическая съёмка

(определение концентрации углеводородов в почвенном воздухе, донных осадках), битуминологический анализ, гидрохимическое опробование. В Восточной Сибири геохимия часто становится основным инструментом из-за слабой обнажённости и сложного рельефа (Исаев, 2011). Особое положение приобретает возрождение гелиевой съёмки и изотопно-геохимических методов как способ выявления месторождения углеводородов (Лазаренко, 2023).

– Геофизические методы (Дубровский, 2007): сейсморазведка (выявление структурных ловушек и зон трещиноватости), гравиразведка и магниторазведка (локализация крупных тектонических элементов), электроразведка (картирование зон водонасыщения и возможных скоплений углеводородов). Особое значение приобретают высокоточные аэрогеофизические съёмки в труднодоступных районах Севера.

– Аэрокосмические методы: дешифрирование космоснимков и тепловая съёмка для выявления ландшафтных и температурных аномалий, связанных с разгрузкой флюидов. Метод незаменим при региональном обзоре больших территорий.

Сравнительный анализ показывает, что в Западной Сибири наиболее информативно сочетание геохимических съёмок и сейсморазведки. Для Восточной Сибири приоритетны геохимические и аэрокосмические методы из-за расчленённого рельефа и широкого развития карбонатных пород. В северных районах, где традиционные методы затруднены, ключевую роль играют аэрогеофизика и газогеохимия по неглубоким скважинам.

На основе систематизации прямых признаков нефтегазоносности, геологических и геофизических данных выполняется прогнозное районирование. Территория разделяется на зоны различной перспективности: высокой (многочисленные и яркие признаки, наличие доказанных залежей), средней (локальные проявления, благоприятные структурные условия) и низкой (единичные слабые признаки или их отсутствие).

Современные цифровые технологии позволяют строить трёхмерные геологические модели, учитывающие конфигурацию ловушек, типы коллекторов, аномалии миграции

углеводородов. Такие модели дают возможность количественно оценить потенциальные ресурсы, оптимизировать размещение поисковых скважин и снизить геологические риски.

Для Сибири в целом наибольший интерес представляют зоны сочленения платформенных и складчатых областей (Предверхоанский прогиб, Присаяно-Енисейская впадина), а также внутренние районы Западно-Сибирской плиты с неантиклинальными ловушками. Комплексирование всех видов исследований позволяет существенно повысить достоверность прогноза и обосновать дальнейшие геологоразведочные работы.

В результате проведённого анализа установлено, что прямые признаки нефтегазоносности Сибири представляют собой надёжные индикаторы распределения углеводородов, тесно связанные с геологическим строением регионов. Разработанная классификация признаков и комплекс методов их выявления (полевые, геохимические, геофизические, аэрокосмические) позволяют эффективно решать задачи прогнозирования.

Прогнозное районирование и трёхмерное моделирование на основе прямых признаков нефтегазоносности дают возможность локализовать перспективные участки и планировать дальнейшие разведочные работы с минимальными затратами.

### **Заключение**

1. В результате проведенных исследований получены новые данные о неравномерности распределения фильтрационно-емкостных свойств пласта Верхнечонского НГКМ, которые показали, что при равномерном закачивании воды в пласт не будет происходить её равномерного распределения. Вода будет устремляться в пропластки с высокой проницаемостью, что приведет к преждевременному обводнению эксплуатационных скважин.

2. Анализ геологического строения Ярактинского НГКМ показал, что неравномерность геологического строения обусловлена литологической неоднородностью, тектоническими разломами, трапповыми интрузиями и изменчивостью ФЕС. Эти особенности напрямую влияют на выбор технологий бурения. В зонах с устойчивыми породами

эффективно вертикальное роторное бурение с пресными кольматирующими растворами, а в сложных участках с АВПД и низкой проницаемостью более оправдано наклонно-направленное бурение с горизонтальным окончанием и многостадийным ГРП. Кроме того, использование пакерной схемы на месторождении оправдано на начальном этапе, но по мере падения пластового давления более эффективным является переход на беспакерную эксплуатацию.

3. При анализе осложнений и возможных рисков при бурении скважин на Ковыктинском ГКМ выявлено влияние геологических и литологических особенностей строения месторождения. Была разработана краткая характеристика мероприятий, направленных на ликвидацию осложнений, возникающих при бурении скважин на месторождении.

4. Установлено, что прямые признаки нефтегазоносности Сибири представляют собой надёжные индикаторы распределения углеводородов, тесно связанные с геологическим строением регионов. Разработанная классификация признаков и комплекс методов их выявления (полевые, геохимические, геофизические, аэрокосмические) позволяют эффективно решать задачи прогнозирования.

## Литература

Аверкина Е. В. Анализ рапопроявлений в скважинах, пробуренных на территории Иркутского амфитеатра // Известия Сибирского отделения РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2007. № 4(30). 84–88.

Белонин М. Д., Белонин М. Д., Маргулис Л. С. Нефтегазовый потенциал и перспективы освоения углеводородных ресурсов Востока России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2006. № 1. С. 1–18.

Васильев А. И. Основы геохимии углеводородов. Москва : Геоиздат, 2008. 256 с.

Дубровский Л. П. Методы сейсморазведки в нефтегазовой геологии. Москва : Недра, 2007. 304 с.

Закиров С. Н., Кондратюк А. Т. Теория и практика разработки газоконденсатных месторождений. Москва : Недра, 2015. 320 с.

Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных скважин / Под ред. А. И. Гриценко. Москва : Недра, 2010. 240 с.

Исаев В. П. Нефть и газ озера Байкал. Иркутск: Байкальское книжное издательство, 2011. 352 с.

Исмаилова Д. А. Совершенствование системы поддержания пластового давления путем формирования равномерного фронта вытеснения нефти на примере месторождения Узень. Диссертация на соискание ученой степени доктора философии. Алматы: 2018. 129 с.

Коновальцева Е. С. Вторичные процессы в породах-коллекторах продуктивных отложений Ярактинского месторождения // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2010. № 5.

Лазаренко С. А., Мамакова Т. С., Огонян А. А. Вклад гелиевой съемки в открытие Киренского месторождения // Жизнь Земли. 2023. Т. 45, № 3. С. 363–371. DOI: 10/29003/m3552.0514-7468.2023\_45\_3/363-371

Мандельбаум М. М., Хохлов Г. А., Кондратьев В. А., Мазур В. Б. Методика и технология открытия крупных и уникальных месторождений нефти и газа на юге Сибирской платформы // Разведка и охрана недр. 2005. № 2–3. С. 29–39.

Плюснин А. В., Иванова Н. А., Сентякова Н. С., Староселец Д. А., Гекче М. И., Никулина М. Ю., Никулин Е. В., Фомин В. А. Строение и условия формирования Ярактинского продуктивного горизонта позднего венда южной части Непско-Ботубобинской антиклизы // КиберЛенинка. 2019.

Плюснин А. В., Гекче М. И. Состав и строение непской и тирской свиты Приленско-Непской структурно-фациальной зоны Непско-Ботубобинской антеклизы по результатам изучения кернового материала // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020, № 63 (1). С. 75–89.

Сабанчин И. В., Афракков А. Н., Лапердин А. Н., Ермилов О. М., Мулявин С. Ф., Сентябова Д. А. Особенности геологического строения Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения // Горные ведомости. 2015. Вып. 4 (131). С. 48–54.

Смирнов В. Г. Разведка и оценка нефтегазоносности Сибири. Томск : Томское издательство, 2008. 296 с.

Технический проект разработки Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения. Иркутск, 2015. 280 с.

## References

Averkina E. V. Analysis of Brine Shows in Wells Drilled in the Irkutsk Amphitheater / E. V. Averkina // Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting, and Exploration of Ore Deposits. 2007. No. 4(30). 84–88.

Belonin M.D. Oil and Gas Potential and Prospects for Development of Hydrocarbon Resources in Eastern Russia / M. D. Belonin, L. S. Margulis // Oil and Gas Geology. Theory and Practice. 2006. No. 1. P. 1–18.

Vasiliev A.I. Fundamentals of Hydrocarbon Geochemistry. Moscow : Geoizdat, 2008. 256 p.

Dubrovsky, L. P. Seismic exploration methods in oil and gas geology. Moscow : Nedra, 2007. 304 p.

Zakirov S.N., Kondratyuk A.T. Theory and Practice of Gas Condensate Field Development. Moscow : Nedra, 2015, 320 p.

Instructions for the Comprehensive Study of Gas and Gas Condensate Wells / Ed. by A. I. Gritsenko. Moscow : Nedra, 2010, 240 p.

Isaev V.P. Oil and Gas of Lake Baikal. Irkutsk: Baikal Book Publishing House, 2011. 352 p.

Ismailova, D.A. Improving the Reservoir Pressure Maintenance System by Forming a Uniform Oil Displacement Front: The Uzen Field as an Example. Doctor of Philosophy Dissertation. Almaty: 2018, 129 p.

Konovaltseva E.S. Secondary processes in reservoir rocks of productive deposits of the Yarakinskoye field // Oil and Gas Geology. Theory and Practice. 2010. No. 5.

Lazarenko S.A., Mamakova T.S., Ogonyan A.A. Contribution of helium survey to the discovery of the Kirenskoye field // Life of the Earth. 2023. Vol. 45, No. 3. P. 363–371. DOI: 10/29003/m3552.0514-7468.2023\_45\_3/363-371

Mandelbaum M.M. Methodology and technology for discovering large and unique oil and gas fields in the south of the Siberian platform / M.M. Mandelbaum, G.A. Khokhlov, V.A. Kondratyev, V.B. Mazur // Exploration and protection of mineral resources. 2005. No. 2–3. P. 29–39.

Plyusnin A.V., Ivanova N.A., Sentyakova N.S., Staroselets D.A., Gekche M.I., Nikulina M.Yu., Nikulin E.V., Fomin V.A. Structure and formation conditions of the Yarakinsky productive horizon of the late Vendian of the southern part of the Nepa-Botuoba anticline // CyberLeninka. 2019.

Plyusnin A.V., Gokche M.I. Composition and structure of the Nepa and Tirkaya suites of the Prilensko-Nepeskaya structural-facies zone of the Nepa-Botuoba antecline based on the results of core material study // News of Higher Educational Institutions. Geology and Exploration. 2020, No. 63 (1). P. 75–89.

Sabanchin I.V., Afrakov A.N., Laperdin A.N., Ermilov O.M., Mulyavin S.F., Sentyakova D.A. Features of the geological structure of the Yarakinskoye oil and gas condensate field // Gornye Vedomosti. 2015. Issue. 4 (131). P. 48–54.

Smirnov V.G. Exploration and assessment of oil and gas potential of Siberia. Tomsk: Tomsk Publishing House, 2008. 296 p.

Technical project for the development of the Yarakinskoye oil and gas condensate field. Irkutsk, 2015. 280 p.

**Лихачев Александр Игоревич**,  
664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,  
Иркутский государственный университет,  
магистрант 2 курса,  
email: spills00@mail.ru

**Likhachev Alexander Igorevich**,  
Karl Marx st., 1, Irkutsk, 664003, Russia,  
Irkutsk State University,  
2nd year master's student,  
email: spills00@mail.ru

**Батожаргалов Болот Жаргалович**,  
664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,  
Иркутский государственный университет,  
магистрант 2 курса,  
email: batozhargalov.bolot@mail.ru

**Batozhargalov Bolot Zhargalovich**,  
Karl Marx sr., 1, Irkutsk, 664003, Russia,  
Irkutsk State University,  
2nd year master's student,  
email: Batozhargalov.bolot@mail.ru

**Базаров Андрей Лопсонович**,  
664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,  
Иркутский государственный университет,  
магистрант 2 курса,  
email: bazarov3420@mail.ru

**Bazarov Andrey Lopsovich**,  
Karl Marx st., 1, Irkutsk, 664003, Russia,  
Irkutsk State University,  
2nd year master's student,  
email: bazarov3420@mail.ru

**Дамбаев Дугар Алдарович**,  
664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,  
Иркутский государственный университет,  
магистрант 2 курса,  
email: dugar.dambaev@mail.ru

**Dambaev Dugar Aldarovich**,  
Karl Marx st., 1, Irkutsk, 664003, Russia,  
Irkutsk State University,  
2nd year master's student,  
email: dugar.dambaev@mail.ru

**Иванова Людмила Андреевна**,  
664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,  
Иркутский государственный университет,  
студент 2 курса магистратуры геологического  
факультета,  
email: Ottooke19@yandex.ru

**Ivanova Lyudmila Andreevna**,  
Karl Marx st., 1, Irkutsk, 664003, Russia,  
Irkutsk State University,  
2nd year master's student,  
email: Ottooke19@yandex.ru

---

**Прими́на Светла́на Па́вловна,**  
заведующая кафедрой геологии нефти и газа, доцент,  
664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,  
Иркутский государственный университет,  
доцент,  
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 91,  
email: svetlana.primina@gmail.ru

**Primina Svetlana Pavlovna,**  
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor,  
Karl Marx st., 1, Irkutsk, 664003, Russia,  
Irkutsk State University,  
Associate Professor,  
email: svetlana.primina@gmail.ru.

**Летникова Анна Феликсовна,**  
кандидат химических наук, доцент,  
664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,  
Иркутский государственный университет,  
доцент,  
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 91,  
email: let\_an@mail.ru

**Letnikova Anna Feliksovna,**  
Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,  
Karl Marx st., 1, Irkutsk, 664003, Russia,  
Irkutsk State University,

Associate Professor,  
email: let\_an@mail.ru

**Снопков Сергей Викторович,**  
кандидат геолого-минералогических наук, доцент,  
664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,  
Иркутский государственный университет,  
доцент,  
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 91,  
Сибирская школа геонаук Иркутский национальный исследовательский технический университет,

научный сотрудник,  
email: snopkov\_serg@mail.ru  
**Snopkov Sergey Viktorovich,**  
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor,  
Karl Marx st., 1, Irkutsk, 664003, Russia,  
Irkutsk State University,  
Associate Professor,  
91 Lermontov st., Irkutsk, 664033, Russia,  
Siberian School of Geosciences Irkutsk National Research Technical University,  
Researcher,  
email: snopkov\_serg@mail.ru

---

## МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 550.844+546.791.027+632.126  
<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2026.1.56>  
EDN: ISMOLT

### От контроля слабых землетрясений в Байкальской рифтовой системе магнитными бурями к сейсмическим импульсам Японско-Байкальского геодинамического коридора: мониторинг ОВП подземных вод в реальном времени начала 2026 г.

С.В. Рассказов<sup>1,2</sup>, И.А. Асламов<sup>3</sup>, С.В. Снопков<sup>2,4</sup>, Е.П. Чебыкин<sup>1</sup>, А.М. Ильясова<sup>1</sup>,  
И.С. Чувашова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

<sup>3</sup>Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

<sup>4</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

**Аннотация.** Основная цель мониторинга окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) подземных вод Култукского полигона – оперативная оценка сейсмогенного состояния земной коры Байкальской рифтовой системы (БРС). В статье рассматриваются соотношения вариаций ОВП подземных вод и землетрясений при переходе от контроля слабых землетрясений магнитными бурями к сейсмическим импульсам Японско-Байкальского геодинамического коридора (ЯБГК) от временного интервала конца 2025 к временному интервалу начала 2026 г. Предполагается, что магнитные бури, вызывавшие слабые землетрясения БРС и нивелировавшие существовавшие аномалии тектонических напряжений, способствовали запуску новой серии сейсмогенных деформаций 2026 г. в режиме коротких сейсмических импульсов. Обращается внимание на образование Танхойской линии землетрясений в феврале-марте 2026 г., которая может обозначать анизотропное предсейсмическое состояние коры, подобное проявлению анизотропного предсейсмического состояния коры вдоль линий землетрясений перед сильными сейсмическими активизациями: Култукской 2008 г. и Байкало-Хубсугульской 2020–2023 гг.

**Ключевые слова:** подземные воды, мониторинг, окислительно-восстановительный потенциал, землетрясения, Байкал

### From Magnetic Storm Control of Weak Earthquakes in the Baikal Rift System to Dominant Seismic Pulses of the Japan-Baikal Geodynamic

Статья получена: 20.03.2026; исправлена: 25.03.2026; принята: 27.03.2026.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Рассказов С.В., Асламов И.А., Снопков С.В., Чебыкин Е.П., Ильясова А.М., Чувашова И.С. От контроля слабых землетрясений в Байкальской рифтовой системе магнитными бурями к сейсмическим импульсам Японско-Байкальского геодинамического коридора: мониторинг ОВП подземных вод в реальном времени начала 2026 г. // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 1. С. 56–90. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.56. EDN: ISMOLT

Article received: 20.03.2026; corrected: 25.03.2026; accepted: 27.03.2026.

FOR CITATION: Rasskazov S.V., Aslamov I.A., Snopkov S.V., Chebykin E.P., Ilyasova A.M., Chuvashova I.S. From magnetic storm control of weak earthquakes in the Baikal Rift System to dominant seismic pulses of the Japan-Baikal geodynamic corridor: real-time monitoring of groundwater oxidation-reduction potential in early 2026 // Geology and Environment. 2026. Vol. 1, No. 1. P. 56–90. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.56. EDN: ISMOLT

## Corridor: Real-Time Monitoring of Groundwater Oxidation-Reduction Potential in Early 2026

S.V. Rasskazov<sup>1,2</sup>, I.A. Aslamov<sup>3</sup>, S.V. Snopkov<sup>2,4</sup>, E.P. Chebykin<sup>1</sup>, A.M. Ilyasova<sup>1</sup>, I.S. Chuvashova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia*

<sup>2</sup>*Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

<sup>3</sup>*Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia*

<sup>4</sup>*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

**Abstract.** The main objective of monitoring the oxidation-reduction potential (ORP) of groundwater at the Kultuk area is to quickly assess the seismogenic state of the earth's crust of the Baikal Rift System (BRS). The paper examines the relationships between variations in the ORP of groundwater and earthquakes during the transition from the control of weak earthquakes by magnetic storms to seismic impulses of the Japan-Baikal Geodynamic Corridor (JBGC) from the time interval of the end of 2025 to the one of the beginning of 2026. It is inferred that magnetic storms that caused weak earthquakes in the BRS and leveled out existing tectonic stress anomalies contributed to the launch of a new series of seismogenic deformations in 2026 in the short seismic impulse regime. Attention is drawn to the generation of the Tankhoy earthquake line in February-March 2026 that might designate the anisotropic pre-seismic state of the crust, similar to those displayed along earthquake lines before strong seismic reactivations: Kultuk in 2008 and Baikal-Khovsgol in 2020–2023.

**Keywords:** *groundwater, monitoring, oxidation-reduction potential, earthquakes, Baikal*

### Введение

В 2020–2023 гг. Байкальская рифтовая система (БРС) была охвачена сильной Байкало-Хубсугульской активизацией. Ее главное событие – Хубсугульское землетрясение 12 января 2021 г. (энергетический класс  $K=15.7$ ) – характеризует преобладающие сейсмические эффекты на западе БРС, связанные с усилиями в Саяно-Монгольском секторе Индо-Азиатской конвергенции (СМСИАК). После 3-месячного ослабления сейсмичности в конце 2023 г. – начале 2024 г. началась Северо-Байкало-Хангайская сейсмическая активизация, главное событие которой – Северо-Байкальское землетрясение 15 января 2024 г. ( $K=14.4$ ) – свидетельствует о перераспределении преобладающих сейсмических эффектов с запада на восток БРС в связи усилением влияния Японско-Байкальского геодинамического коридора (ЯБГК). В течение 2025 г. сильные землетрясения ( $K>13$ ) в БРС отсутствовали. В коротких сейсмических импульсах на западе и востоке БРС отразилось меняющееся влияние на концентрацию сейсмической энергии со стороны СМСИАК и ЯБГК (Рассказов и др., 2025г).

Перед началом Северо-Байкало-Хангайской сейсмической активизации, в декабре 2023 г., на Култукском полигоне БРС были установлены два сенсора, регистрирующие ОВП, рН и температуру в режиме реального

времени. В течение 2024 г. были выявлены разнообразные эффекты, в том числе связь вариаций ОВП с сейсмогенным состоянием коры (Рассказов и др., 2023, 2024, Асламов и др., 2024; Снопков и др., 2024; Чебыкин и др., 2024). В течение 2025 г. в подземных водах Култукского полигона проводился оперативный анализ записей ОВП подземных вод и землетрясений БРС по временным отрезкам от 5 до 7 дней (Рассказов и др., 2025а,б,в,г). Анализ ОВП данных, касающихся сейсмичности начала 2025 г., был затруднен из-за мешающих эффектов многочисленных магнитных бурь. Вариации ОВП стали отчетливо проявляться в связи с землетрясениями БРС только с 30 апреля 2025 г. Повышенные значения ОВП станций мониторинга соответствовали землетрясению в условиях сжатия земной коры, пониженные значения этого показателя – землетрясению в условиях растяжения. Первые закономерности вариаций ОВП в связи с развитием сейсмичности были намечены к началу июля, а к 19 августа были обозначены силовые импульсы сейсмогенных деформаций апреля-июня (АИ) и июня-августа (ИА). К концу октября наметились общие подходы к анализу передовых записей ОВП, связанных с сейсмогенными деформациями.

С 24 до 30 октября 2025 г. были зарегистрированы заключительные землетрясения импульса СО (сентябрь-октябрь) с

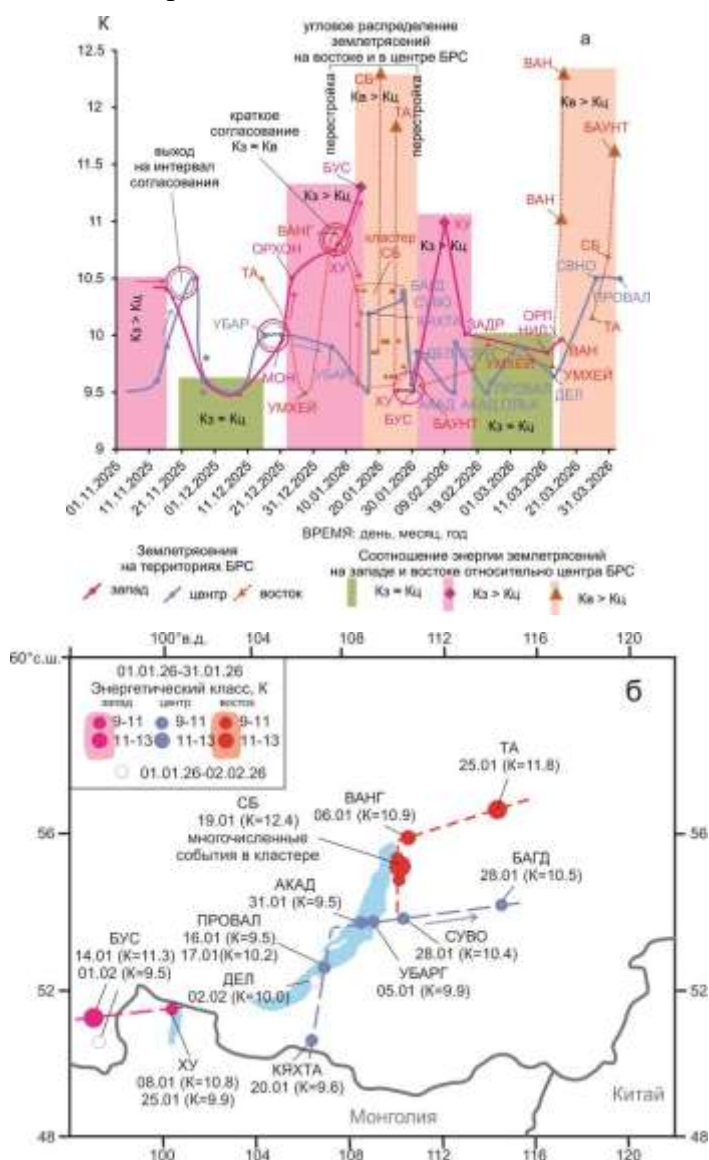
пониженным энергетическим классом ( $K < 11.5$ ). Во время двух последних месяцев 2025 г. энергия землетрясений в целом снижалась. После сейсмической структурной перестройки 12–13 ноября произошла самая сильная магнитная буря 2025 г. с предельным значением  $K_p = 8.7$ . Последующие слабые землетрясения БРС в ноябре и декабре 2025 г. контролировались более слабыми магнитными бурями (Расказов и др., 2025г). Продолжающиеся записи ОВП осуществляются на фоне усиления сейсмичности, наблюдающейся в начале 2026 г.

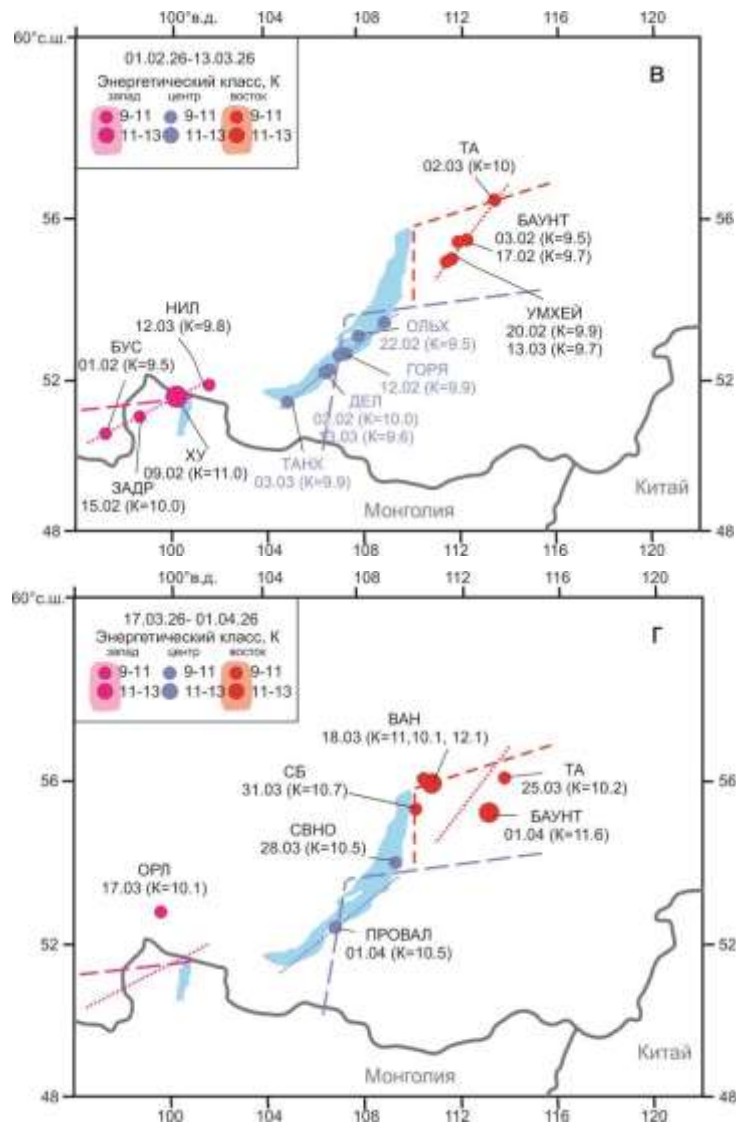
Цель настоящей статьи – выполнить анализ записей ОВП подземных вод для оценки текущего сейсмогенного состояния земной коры БРС, сложившегося к 1 апреля 2026 г.

при смене слабых землетрясений, контролирующихся магнитными бурями, землетрясениями умеренной силы.

### Анализ сейсмичности

Развитие сейсмичности БРС в последние два месяца 2025 г. и в первые три месяца 2026 г. отслеживается на графике временных вариаций  $K$  землетрясений (рис. 1а). С учетом опыта наблюдений 2025 г. анализ проводится по трем территориям БРС: запада, центра и востока. Первые две территории разделяются по долготе Култукского опорного сейсмопрогностического полигона ( $104^\circ$  в.д.). Соответственно, запад БРС включает территорию  $96\text{--}104^\circ$  в.д., центр –  $104\text{--}110^\circ$  в.д. (рис. 1б–г).





**Рис. 1.** График временного изменения энергетического класса (K) землетрясений БРС с 1 ноября 2025 г. до 1 апреля 2026 г. (а) и схема пространственного распределения эпицентров землетрясений БРС: 05.01–02.02.2026 (б), 01.02–13.03.2026 (в) и 17.03–01.04.2026 г. В БРС различаются тренды землетрясений запада, центра и востока.

**Fig. 1.** Graph of the temporal change in the energy class (K) of BRS earthquakes from November 1, 2025 to April 1, 2026 (a) and sketch maps of spatial distribution of BRS earthquake epicenters: 05.01–02.02.2026 (b), 01.02–13.03.2026 (c), and 17.03–01.04.2026. In the BRS, the trends of earthquakes in the west, center, and east differ.

*31 октября – 08 января 2026 г.: переход от согласованной слабой сейсмичности запада и центра БРС ( $K_z \approx K_c$ ) к усилению сейсмичности на западе ( $K_z > K_c$ )*

Начало графика ограничивается асейсмичным интервалом 31 октября – 12 ноября 2025 г., который соответствует структурной сейсмической перестройке. После асейсмичного интервала возобновляются землетрясения низкого энергетического класса ( $K=9.6-9.9$ ) в центре БРС и слегка повышенного ( $K=10.4$ ) – на западе. Наблюдается связь землетрясений

с магнитными бурями. Мондинское землетрясение (МОН) на западе БРС 22 декабря ( $K=10.0$ ) происходит непосредственно во время магнитной бури, а Верхне-Орхонское землетрясение 24 декабря ( $K=10.3$ ) следует сразу после возмущения магнитосферы. Умхейскому землетрясению на востоке БРС 29 декабря ( $K=9.5$ ) соответствует интервал аномальных высокочастотных колебаний, обычно сопровождающих магнитные бури. Сейсмическое событие 29 декабря, однако, не сопровождается магнитными возмущениями (Рассказов и др., 2025).

Особо выделяются эпизоды уравнивания энергетического класса (резонанса) землетрясений в разных частях БРС. Энергия Усть-Баргузинского землетрясения (УБАР) центра БРС 25 ноября ( $K=10.3$ ) уравнивается с предшествующим землетрясением БУС запада БРС 16 ноября ( $K=10.3$ ). Это уравнивание воспринимается как выход на общие согласованные вариации  $K$  землетрясений запада и центра рифтовой структуры. В интервале с 25 ноября до 10 декабря  $K$  землетрясений этих территорий согласованно снижается до 9.5, а 15–22 декабря согласованно возрастает до 10.0. Временной интервал с 25 ноября до 22 декабря 2025 г. обозначается как интервал согласованных косейсмических деформаций земной коры в центре и на западе БРС.

После 22 декабря наблюдается бифуркация значений  $K$  территорий БРС. На западе 24 декабря 2025 г. реализуется периферическое землетрясение ОРХОН (в верховьях Орхона) на территории Монголии с повышенным  $K$  (10.5). В отличие от запада, в центре БРС происходит землетрясение УБАРГ с низким  $K$  (9.9) 05 января 2026 г. и землетрясение ПРОВАЛ с еще более низким  $K$  (9.5) 16 января при последующем угасании сейсмичности центра БРС.

Интервал сочетания сейсмогенных деформаций земной коры центра и запада БРС сменяется интервалом сочетания сейсмических событий запада и востока. Продолжается тренд возрастания  $K$  землетрясений запада с перераспределением сейсмической активности с центра на восток. Ключевая точка интервала событий запада и востока на графике рис. 1а обозначает краткое согласование по уровню  $K$  землетрясений Верхне-Ангарского (ВАН,  $K=10.9$ ) 6 января и Хубсугульского (ХУ,  $K=10.8$ ) 8 января. Последнее из них реализуется в эпицентральной кластере главного Хубсугульского землетрясения Байкало-Хубсугульской активизации 2020–2023 гг., произошедшего 11 января 2021 г.

*06–31 января 2026 г.: угловое распределение землетрясений на востоке и в центре БРС при усилении сейсмичности на востоке БРС ( $K_{\text{в}} > K_{\text{ц}}$ )*

По пространственному распределению землетрясений в январе 2026 г. в центре и на востоке БРС отчетливо просматривается

угловое сочетание линий землетрясений. Землетрясения южной части территории востока  $110\text{--}122^\circ\text{в.д.}$  рассматривается в группе землетрясений центра (рис. 1б). Угловой порядок распределения землетрясений востока и центра устанавливается после Умхейского землетрясения востока БРС 29 декабря (УМХЕЙ), во время резонанса Верхнеангарского землетрясения востока (ВАН) с землетрясением в Хубсугульском кластере (ХУ) запада.

До краткого согласования землетрясений запада и востока 6–8 января на уровне  $K=10.8\text{--}10.9$  энергетический класс землетрясений востока БРС не превышал 10.5 (ТА, Таксимо, 15 декабря). После краткого согласования проявляется серия 4-х сейсмических событий в кластере Северо-Байкальского землетрясения (СБ) 13–14 января ( $K=9.6\text{--}10.4$ ) с откликом 14 января землетрясения БУС повышенного энергетического класса ( $K=11.3$ ) в Бусийнгольском кластере запада БРС. В эпицентре сильного землетрясения СБ, произошедшего 15 января 2024 г., в период с 13 до 29 января проявляется кластер землетрясений. В январе явно доминирует сейсмичность востока БРС. Эпицентры кластера СБ вытянуты в субмеридиональном направлении. Верхне-Ангарское землетрясение (ВАН,  $K=10.9$ ) и землетрясение Таксимо (ТА,  $K=11.8$ ) образуют субширотную линию и пространственно объединяются с землетрясениями кластера СБ в угловую сейсмогенерирующую зону востока БРС. В середине интервала кластеризации 19 января реализуется сейсмический толчок повышенной силы землетрясения СБ ( $K=12.4$ ). При угловом распределении эпицентров землетрясений на востоке реализуется также землетрясение Таксимо (ТА) с повышенным  $K$  (11.8). В то время как землетрясения СБ и ТА востока БРС выходят на максимум  $K$  между землетрясениями ХУ и БУС, энергия землетрясений запада снижается.

Угловая сейсмогенерирующая зона проявляет активность в центре БРС с более низким  $K$  (не более 10.5). В субширотной ветви угловой зоны находятся эпицентры землетрясений: Усть-Баргузинского (УБАРГ,  $K=9.9$ ), Суво (СУВО,  $K=10.4$ ), Багдаринского (БАГД,  $K=10.5$ ) и Академического (АКАД,  $K=9.5$ ), в субмеридиональной ветви – эпицентры

землетрясений ПРОВАЛ ( $K=9.5-10.2$ ) и КЯХТА ( $K=9.6$ ) и Дельтового (ДЕЛ,  $K=10$ ). На западе БРС проявляется сейсмическая активность в кластерах: Хубсугульском (ХУ,  $K=9.9, 10.8$ ) и Бусийнгольском (БУС,  $K=11.3$ ).

*01 февраля – 13 марта 2026 г.: линейное распределение землетрясений на западе, в центре и востоке БРС при небольшом усилении сейсмичности на западе БРС ( $K_z > K_c$ )*

01 февраля сейсмичность перестраивается. До 13 марта включительно землетрясения запада, центра и востока БРС распределяются вдоль линий. Слегка повышенный энергетический класс ( $K=11.0$ ) имеет только землетрясение Хубсугульского кластера.

*17 марта – 01 апреля 2026 г.: усиление сейсмичности на востоке БРС ( $K_v > K_c$ )*

С 13 по 17 марта сейсмичность вновь перестраивается. Вечером 17 марта происходит

слабое Орликское землетрясение запада БРС (ОРЛ,  $K=10.1$ ), а в ночь на 18 марта – еще четыре землетрясения в Верхне-Ангарском кластере (ВАН), в том числе событие  $K=12.1$ . После недельного перерыва реализуется слабое сейсмическое событие в кластере Таксимо (ТА,  $K=10.2$ ). Землетрясения востока БРС частично находятся на линиях январского сейсмического угла, частично распространяются от этого угла к оси ЯБГК.

### Условия установки сенсоров и методика обработки записей ОВП

Для измерений ОВП, рН и температуры подземных вод установлено два сенсора: один – на ст. 9, в краевом Обручевском разломе Южно-Байкальской впадины, другой – на ст. 184, на Култукской тектонической ступени осевой части Байкальской рифтовой системы (БРС) (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема расположения мониторинговых скважин ст. 9 (Земляничная, КБЖД) и ст. 184 (Школьная) с установленными сенсорами для измерений ОВП, рН и температуры в режиме реального времени на западном побережье оз. Байкал (пос. Култук). Условия установки сенсоров охарактеризованы в работе (Рассказов и др., 2023).

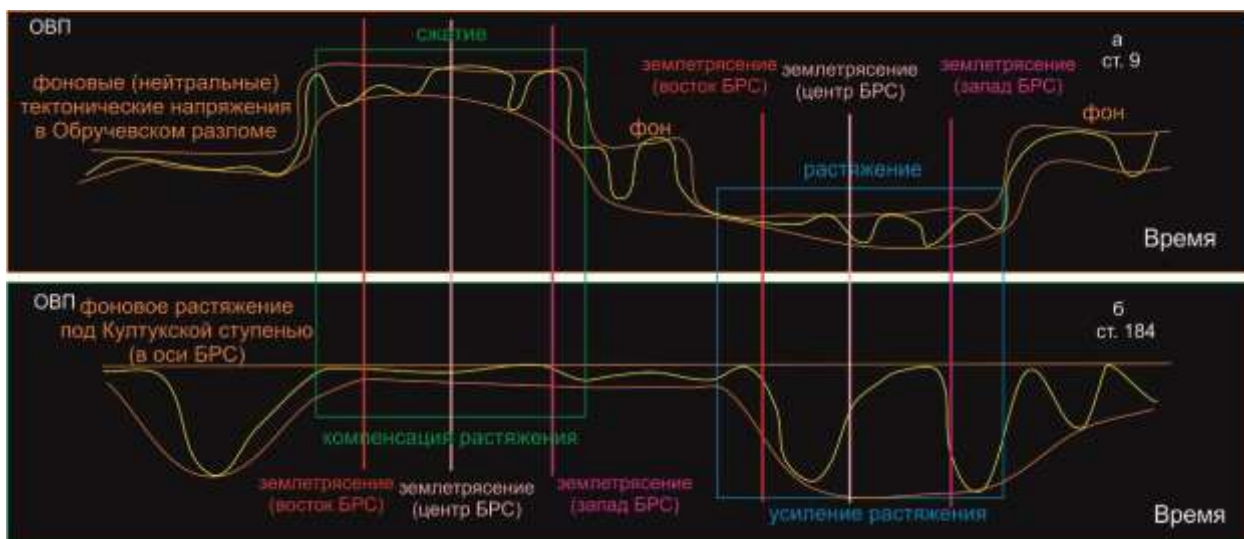
**Fig. 2.** Layout of monitoring wells station 9 (Zemlyanichnaya, Circum-Baikal Railway) and station 184 (Shkolnaya) on the western coast of Lake Baikal (Kultuk settlement) with installed sensors for real-time measuring ORP, pH, and temperature. The installation conditions of the sensors are described by (Rasskazov et al., 2023).

Действие сейсмогенерирующих сил растяжения и сжатия в земной коре отслеживается

по косейсмическому изменению ОВП в режиме реального времени. Выявляются связи

землетрясений, происходящих в разных частях БРС, с эпизодами согласованных вариаций ОВП подземных вод станций, связанных либо с проявлением сжатия в краевом Обручевском разломе Южно-Байкальской впадины БРС и одновременной компенсацией

растяжения под Култукской тектонической ступенью (в оси БРС), либо с проявлением растяжения в Обручевском разломе при одновременном усилении растяжения под Култукской тектонической ступенью (рис. 3).



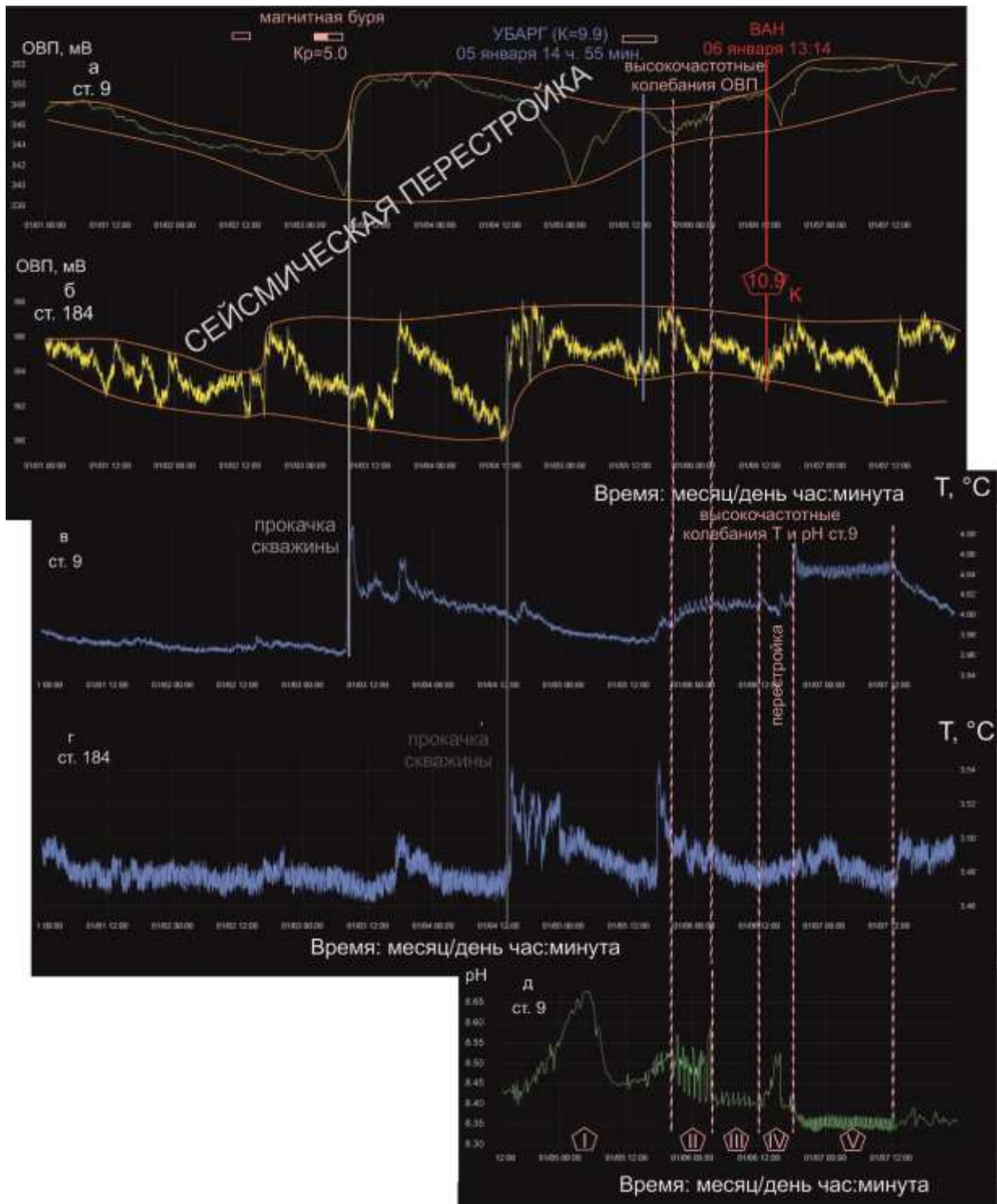
**Рис. 3.** Схематичные диаграммы интерпретации откликов ОВП на землетрясения разных частей БРС при сжатии и растяжении земной коры в Обручевском разломе – под ст. 9 (а) и при компенсации и усилении растяжения под Култукской тектонической ступенью – под ст. 184 (б). Здесь и далее информация по землетрясениям БРС дается цветом: на востоке – красным, в центре – розовым, на западе – малиновым. Временные интервалы сжатия отображается зеленым цветом, временные интервалы растяжения – синим.

**Fig. 3.** Schematic diagrams interpreting responses of the ORP to earthquakes in different parts of the BRS during crustal compression and extension in the Obruchevev Fault – under station 9 (a) and during compensation and amplification of extension beneath the Kultuk tectonic step – under station 184 (b). From here on, information on BRS earthquakes is color-coded: red in the east, pink in the center, and crimson in the west. Time intervals of compression is shown in green, those of extension in blue.

Измерения ОВП подземных вод проводятся с сильной прокачкой скважины ст. 9. Прокачки ст. 184 в целом слабее прокачек ст. 9. Разница в прокачках скважин отражается в разных диапазонах вариаций температуры подземных вод. Графики ОВП совмещаются во времени с графиками температуры, которая во время прокачки подземных вод скважин может меняться, либо оставаться стабильной. Графики температурных вариаций рассматриваются как дополнительная

характеристика, полезная для корректной интерпретации мониторинговых данных.

Оперативное отслеживание изменений ОВП направлено на оценку сейсмогенных деформаций земной коры. Вариации рН подземных вод не рассматриваются, поскольку выяснение причин кислотно-щелочных переходов подземных вод требует специального анализа данных, выходящего за рамки решаемой задачи. Записи рН приводятся в исключительных случаях для более точной регистрации эффектов магнитных бурь.



**Рис. 4.** Диаграммы вариаций ОВП 01–07 января 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, г). Для иллюстрации отрезков высокочастотных электрохимических колебаний, связанных с возмущениями магнитосферы, дополнительно приводится диаграмма записей рН ст. 9 04–07 января (д). На панели д обозначаются границы пяти отрезков с меняющимися колебаниями рН, вызванными магнитосферными возмущениями. Здесь и далее информация по землетрясениям БРС приводится по местному времени с корректировкой относительно данных сайта (Карта..., 2025). УБАРГ – событие Усть-Баргузинского эпицентрального кластера землетрясений, ВАН – событие Верхне-Ангарского эпицентрального кластера землетрясений.

**Fig. 4.** Diagrams of ORP variations in January 1–7, 2026, in groundwater at station 9 (a) and station 184 (b) in comparison with temperature variations in groundwater at the same stations (в, г). To illustrate the segments of high-frequency electrochemical oscillations associated with magnetospheric disturbances, a diagram of pH records at station 9 for January 4–7 (d) is additionally provided. Panel d indicates the boundaries of five segments with changing pH oscillations caused by magnetospheric disturbances. From here on, information on BRS earthquakes is given in local time, adjusted relative to the website data (Map..., 2025). УБАРГ – event of the Ust-Barguzin epicentral earthquake cluster, ВАН – event of the Verkhnyaya-Angara epicentral earthquake cluster.

### **Анализ мониторинговых рядов ОВП в соотношении с землетрясениями**

*01 – 07 января: возмущения магнитосферы вызывают слабые землетрясения земной коры, начинается месячный интервал углового распределения землетрясений на востоке и в центре БРС*

В начале 2026 г. происходит сейсмическая перестройка. Угловое распределение землетрясений на востоке и в центре БРС начинается с события в Усть-Баргузинском кластере (УБАР) 05 января ( $K=9.9$ ).

В записях ОВП подземных вод временного интервала 01–07 января сохраняется триггерное воздействие на земную кору БРС возмущений в магнитосфере Земли с провоцированием слабых землетрясений. Слабая магнитная буря 02–03 января не влечет за собой землетрясений, но выражается на ст. 9 в глубоком минимуме ОВП в ночь с 04 на 05 января (рис. 4). 05 января в полдень наблюдается слабое возмущение магнитосферы, сопровождающееся слабым землетрясением УБАР в Усть-Баргузинском кластере ( $K=9.9$ ). Магнитосферное возмущение 05 января выражается в высокочастотных колебаниях записей температуры подземных вод ст. 9, разделяющихся на 2 временных интервала: 1) с 15 ч. 05 января до 12–14 ч. 06 января и 2) с 14 ч. 06 января до 12 ч. 07 января. Перестройка в характере колебаний температуры от первого интервала ко второму сопровождается Верхне-Ангарским землетрясением (ВАН).

Структура электрических эффектов, вызванных в земной коре магнитосферными явлениями, детально отражается в записи pH ст. 9. По временной смене характера вариаций этого параметра 04–07 января обозначаются

границы пяти отрезков: I – высокий максимум (значения pH меняются от 6.42 до 6.67), переходящий в малый максимум (значения pH меняются от 6.45 до 6.52) 04–05 января; II – высокочастотные колебания (одно полное колебание приблизительно за 1 ч.) с заметной амплитудой (амплитуда  $pH \approx 0.1$ ) на нисходящей кривой малого максимума в ночь с 05 на 06 января; III – колебания с такой же частотой (около 1 ч.), но с меньшей амплитудой (амплитуда  $pH \approx 0.03$ ) в утренние часы 06 января; IV – небольшой максимум, осложненный колебаниями после обеда 06 января и V – частые малоамплитудные колебания (одно полное колебание от 22 до 32 мин) в вечерние часы 06 января до полудня 07 января (рис. 4д).

В записях ОВП ст. 9 различается временной отрезок крупноамплитудных вариаций этого параметра 03–05 января и отрезок сокращенных амплитуд 05–07 января. После магнитосферного возмущения с землетрясением УБАРГ 05 января образуется небольшой минимум ОВП, в котором наблюдаются высокочастотные колебания ОВП. Эти колебания соответствуют отрезку II записей pH при сходной частоте (около 1 ч.).

Подобная частотно-амплитудная дифференциация электрических сигналов земной коры прослеживалась на ст. 9 с 20 до 27 марта 2024 г. в виде серии импульсов, совпадавших по времени с магнитными бурями и запаздывающими относительно них. Серия начиналась малоамплитудными вариациями фона, которые в дальнейшем накладывались на ОВП-минимумы. С течением времени амплитуда ОВП-минимумов возрастала до 138 мВ. Вариации ОВП объяснялись влиянием не только магнитных бурь, но и их сочетанием с сизигийным лунно-солнечным приливом

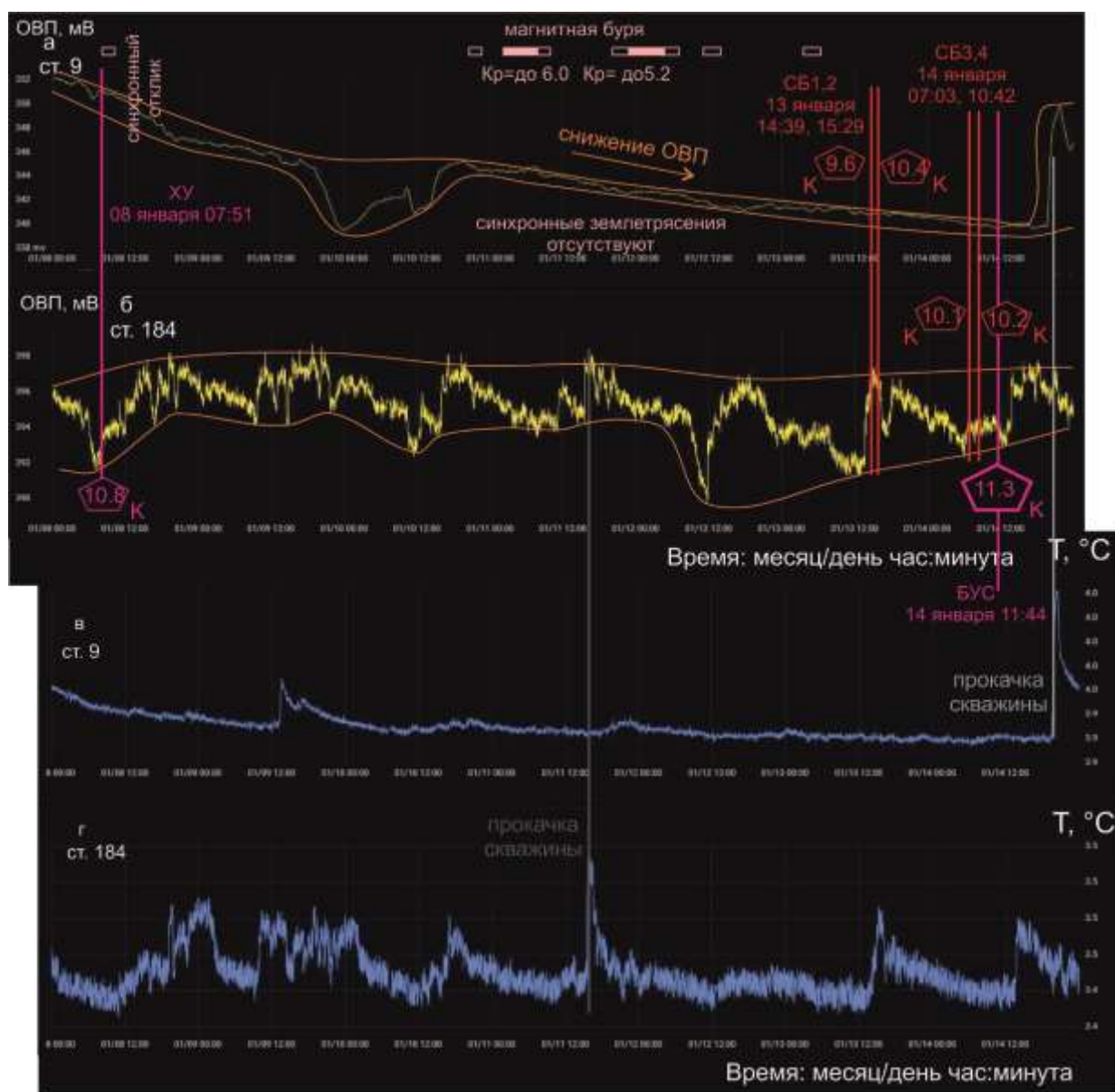
(Чебыкин и др., 2024). Колебания ОВП электрических сигналов магнитной бури начала января 2026 г. проявляются гораздо слабее, чем в марте 2024 г., но весьма отчетливо выражаются в вариациях рН и температуры.

*08 – 14 января: меняется характер контроля возмущениями магнитосферы землетрясений земной коры с возрастанием энергетического класса событий*

Триггерное воздействие на земную кору БРС возмущением в магнитосфере Земли с провоцированием слабого землетрясения сохраняется в начале записей ОВП подземных вод 08 января. Утром реализуется землетрясение ХУ ( $K=10.8$ ) в Хубсугульском афтершоковом кластере на западе БРС одновременно с магнитосферным возмущением. Этому землетрясению предшествует подъем ОВП ст. 9 от 338 до 352 мВ с середины предшествующей недели. В ходе подъема ОВП, 05 и 06 января, магнитной бурей вызываются, соответственно, Усть-Баргузинское и Верхне-Ангарское землетрясения (УБАРГ,  $K=9.9$ ; ВАН,  $K=10.9$ ) (см. рис. 4). Землетрясение ХУ ( $K=10.8$ ) 08 января отвечает максимуму ОВП, от которого начинается постепенное снижение этого параметра, продолжающееся всю неделю. К концу недели ОВП опускается до значения 340 мВ, которое регистрировалось в подземных водах ст. 9 03–

05 января. Получается последовательность: низкое ОВП 03–05 января – повышение ОВП (нарастание сжатия земной коры) с серией землетрясений УБАРГ→ВАН→ХУ, начиная с 05 января с выходом на максимум ОВП и финальным землетрясением серии ХУ 08 января. Землетрясения ВАН 06 января и ХУ 08 января обозначают краткое согласование энергии землетрясений на западе и востоке БРС ( $K$  запада  $\approx K$  востока), после которого энергетический класс серии землетрясений востока снижается до интервала  $K=9.6–10.4$ , а одиночного землетрясения БУС на западе возрастает до 11.3 (см. рис. 1).

На рис. 5а серия четырех событий СБ 13–14 января предшествует одиночному событию БУС 14 января. Эти землетрясения не сопровождаются возмущениями магнитосферы, которые предшествуют землетрясениям 11–13 января. Теперь магнитная буря вызывает запоздалые землетрясения 13–14 января, причем она не отражается в наложенных высокочастотных колебаниях в записях ОВП, рН и температуры. По сравнению с предшествующим соотношением полученных записей и рассматриваемых явлений специфика соотношения характера электрохимических записей параметров, магнитных бурь и землетрясений меняется после краткого согласования энергии землетрясений на западе и востоке БРС 06–08 января.



**Рис. 5.** Диаграммы вариаций ОВП 08–14 января 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, г). ХУ – событие Хубсугульского афтершокового кластера землетрясений; СБ – событие эпицентрального кластера Северо-Байкальского землетрясения 15 января 2024 г.; БУС – событие Бусийногольского эпицентрального кластера землетрясений.

**Fig. 5.** Diagrams of ORP variations on October 24–30 in groundwater of station 9 (a) and station 184 (b) in comparison with temperature variations in groundwater of the same stations (v, z). ХУ – Khovsgol (cluster of aftershocks), СБ – epicentral cluster of the North Baikal earthquake of January 15, 2024; БУС – Busiinogol epicentral earthquake cluster event.

*15 – 21 января: происходит сильнейшая магнитная буря текущего солнечного цикла и на востоке БРС реализуются землетрясения умеренной силы*

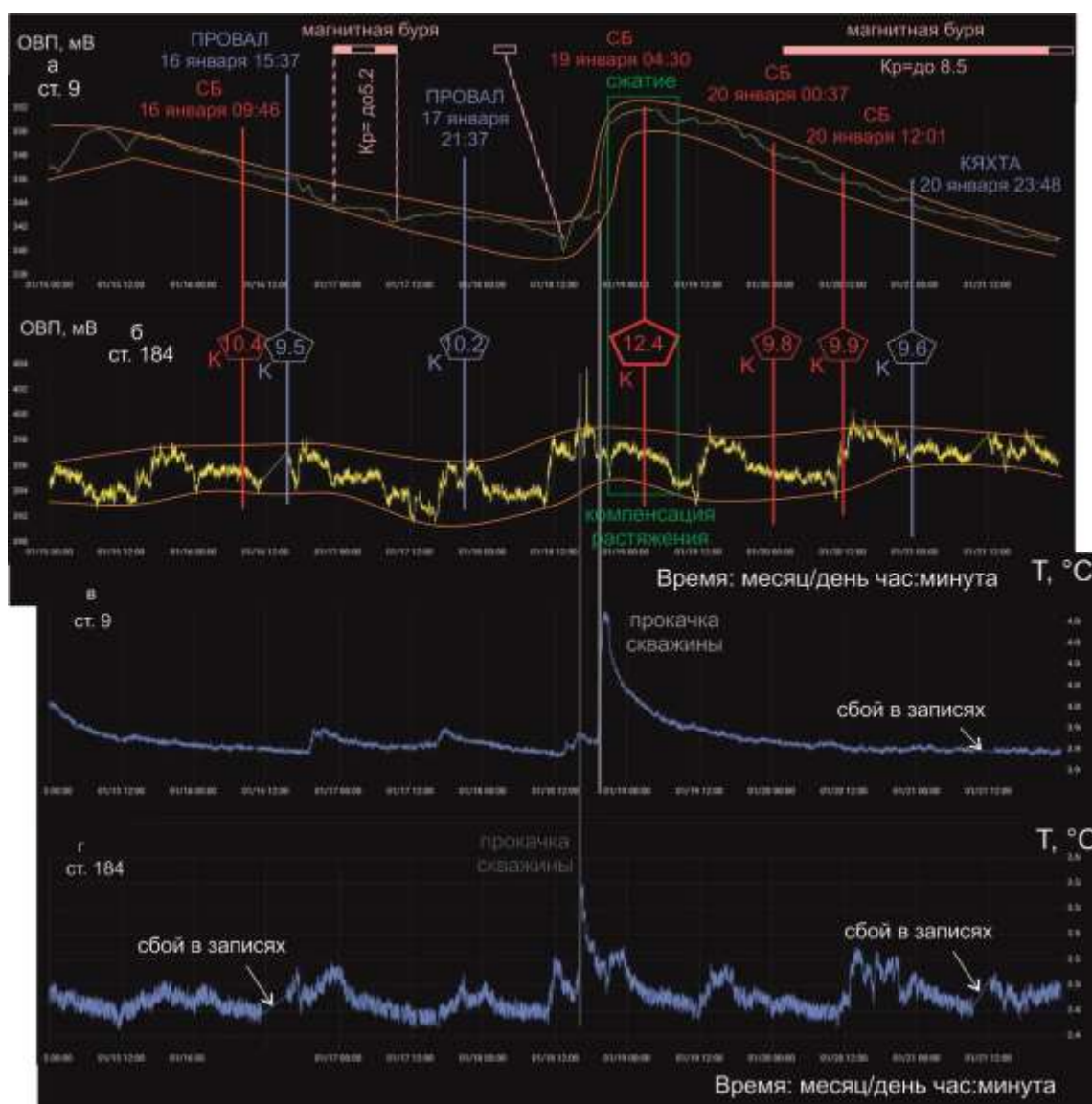
На этой неделе продолжают землетрясения в кластере севера Баргузинского хребта (СБ) востока БРС, инициированные в конце предшествующей недели (13–14 января). 16 января реализуется слабое событие ( $K=10.4$ ),

19 января – землетрясение умеренной силы ( $K=12.4$ ) и 20 января – еще два слабых землетрясения ( $K=9.8$  и  $9.9$ ). Этим землетрясениям сопутствуют слабые сейсмические события в центре БРС: 16 и 17 января в заливе Провал ( $K=9.5$  и  $10.2$ ) и 20 января – в районе Кяхты ( $K=9.6$ ). Землетрясение БУС конца прошлой недели ( $K=11.3$ ) на западе БРС не имеет продолжения (рис. 6).

Умеренным землетрясениям БУС ( $K=11.3$ ) и СБ ( $K=12.4$ ) в записях ст. 9 соответствуют длинно-периодные изменения ОВП с заметной амплитудой (от 342 до 352 мВ) без дополнительных колебаний. Землетрясение БУС ( $K=11.3$ ) конца прошедшей недели происходит 14 января перед прокачкой скважины ст. 9, во время которой ОВП резко возрастает. Если бы прокачка проводилась раньше, скачок ОВП мог реализоваться во время землетрясений СБ и БУС. Подъем ОВП подземных вод подготавливается сейсмогенными деформациями земной коры. Землетрясение СБ ( $K=12.4$ ) происходит 19 января после прокачки скважины ст. 9, вызывающей резкий подъем ОВП, который также

подготавливается сейсмогенными деформациями земной коры.

Магнитная буря 17 января обозначается двумя минимумами ОВП ст. 9, а слабое возбуждение магнитосферы в ночь с 17 на 18 января – запаздывающим минимумом ОВП этой станции после обеда 18 января. Между тем, сильнейшая магнитная буря 20–21 января не отражается в каких-либо значительных минимумах записей ОВП, которые имели место в первой половине января (см. рис. 4–5). С вхождением земной коры БРС в режим внутреннего контроля сейсмогенных деформаций внешнее воздействие на нее магнитной бури подавляется.



**Рис. 6.** Диаграммы вариаций ОВП 15–21 января 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, г). ХУ – событие Хубсугульского афтершокового кластера землетрясений; ПРОВАЛ и КЯХТА – события залива Провал и района Кяхты в центре БРС.

**Fig. 6.** Diagrams of ORP variations on January 15–21, 2026, in groundwater at station 9 (a) and station 184 (b) in comparison with temperature variations in groundwater at the same stations (в, г). ХУ – event of the Hovsgol aftershock cluster of earthquakes; ПРОВАЛ and КЯХТА – events of Proval Bay and the Kyakhta region in the central BRS.

*22 – 28 января: землетрясения на востоке БРС продолжают, 26 января образуется ступень снижения ОВП вследствие ледостава*

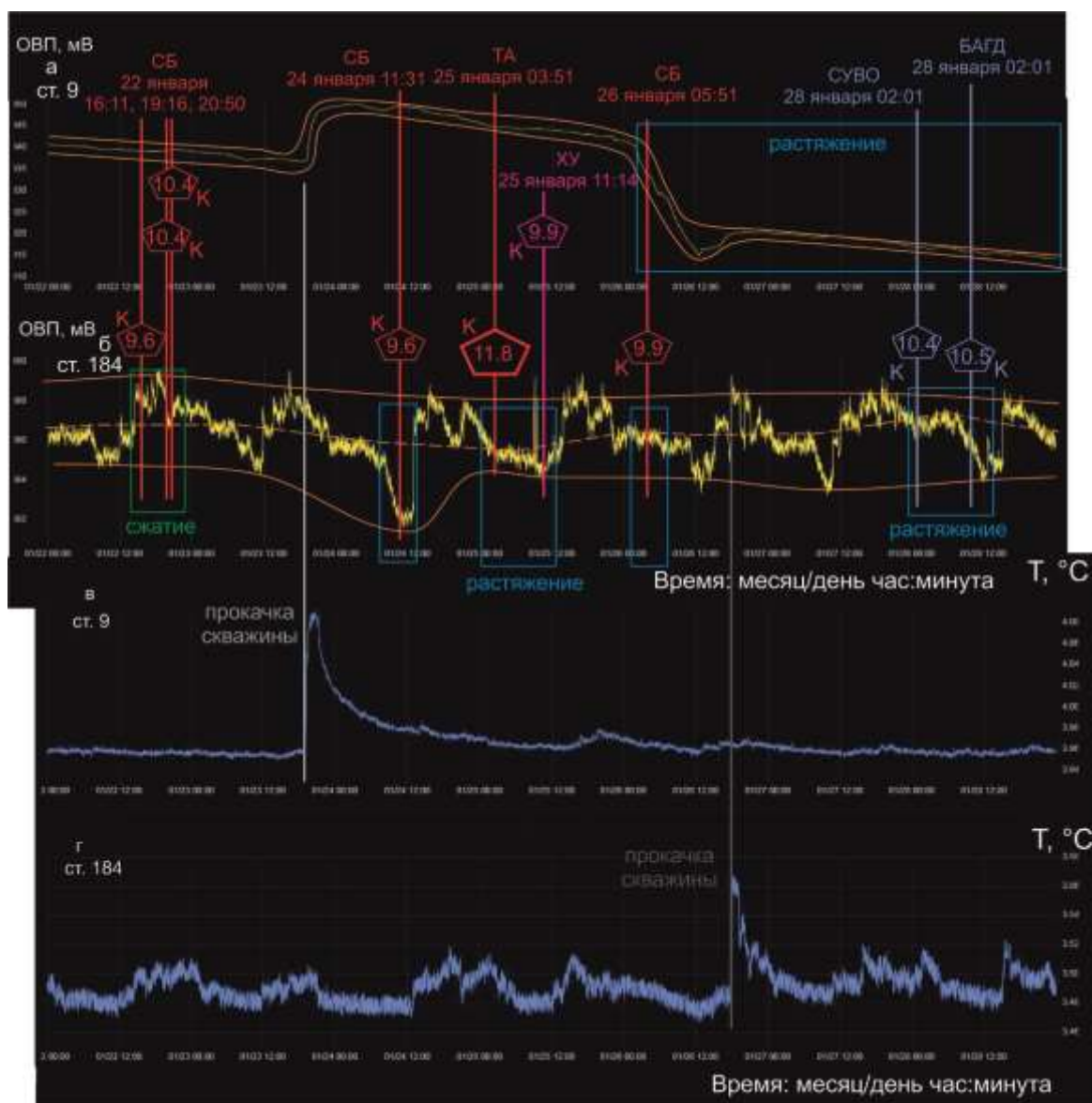
Основная сейсмическая активность по-прежнему сосредоточена в Северо-Байкальском кластере (СБ). 22 января три слабых землетрясения ( $K=9.6-10.4$ ) реализуются здесь в условиях сжатия. Позже устанавливаются сейсмогенные интервалы растяжения. Кроме землетрясений СБ, происходит слабое землетрясение Таксимо с повышенным энергетическим классом (ТА,  $K=11.8$ ) в субширотной Рель-Верхне-Ангарской ветви угловой зоны востока БРС. В конце интервала, 28 января, сейсмическая активность переходит из угловой зоны востока БРС в субширотную (Ямбуйскую) ветвь угловой зоны центра БРС с реализацией сначала – события Суво (СУВО), а затем – события Багдарин (БАГД).

В районе Култука на оз. Байкал лед встает 18 января (наблюдения авторов). После прокачки скв. ст. 9 значение ОВП составляет максимум 352 мВ. В дальнейшем ОВП в общем снижается, хотя каких-либо особых эффектов, подобных эффектам ледостава двух прошедших лет, не наблюдается вплоть до 26 января. В этот день, в 05 ч. 51 мин. кривая ОВП резко идет вниз от значения ОВП=343 мВ. Падение ОВП продолжается до 12 ч. 30 мин. Образуется минимум со значением ОВП = 315 мВ. Прокачка скважины около 18 ч. не ведет к подъему ОВП. После небольшого минимума медленное падение ОВП продолжается (рис. 7).

*29 января – 04 февраля: завершается месячный интервал углового распределения землетрясений на востоке и в центре БРС*

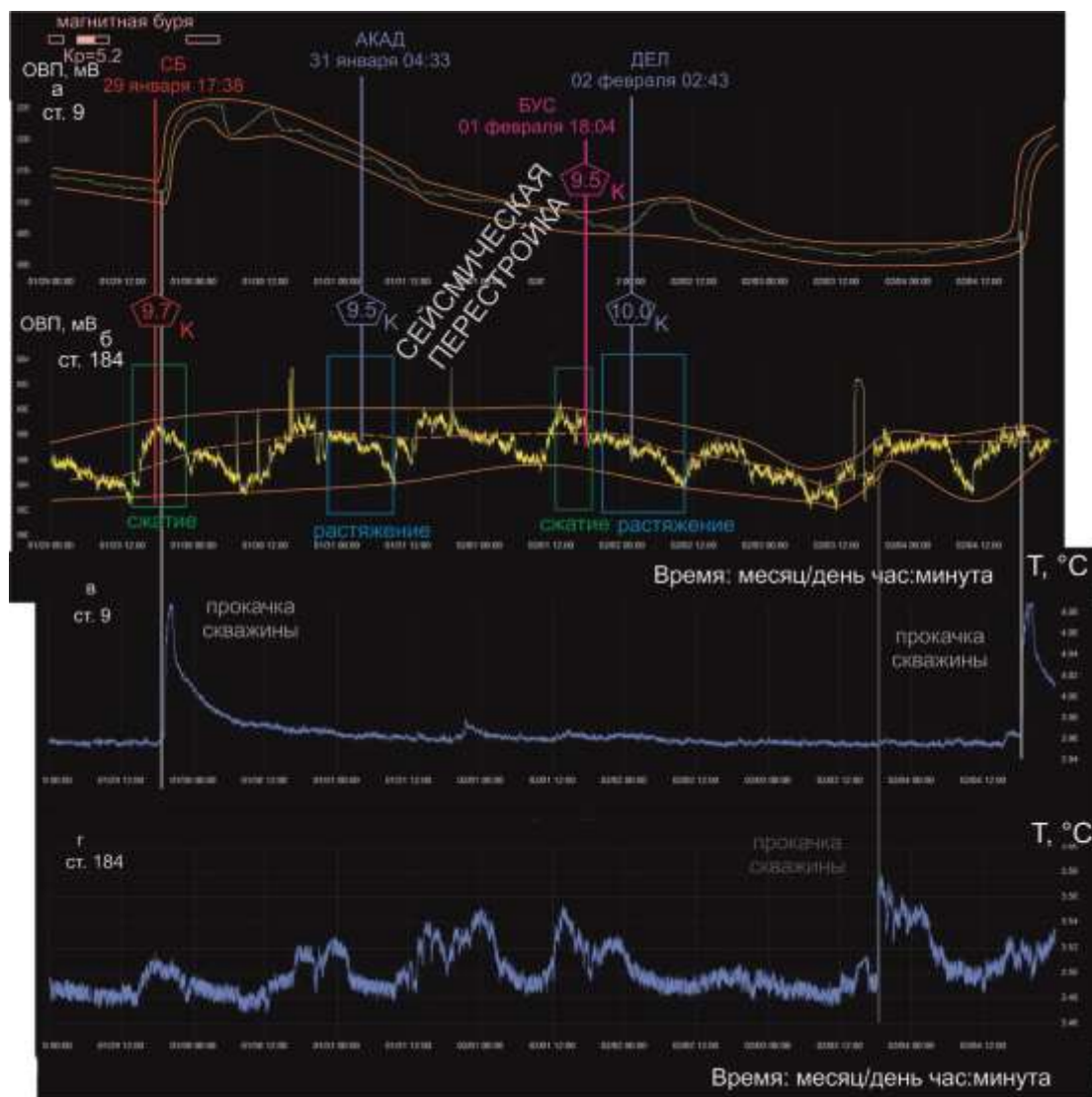
Последние слабые землетрясения месячного интервала углового распределения землетрясений на востоке и в центре БРС происходят 29 января (кластер СБ на востоке) и 31 января (землетрясение АКАД в центре). Следующие землетрясения, реализующиеся на западе в Бусийнгольском кластере (БУС) 01 февраля и в центре 02 февраля (ДЕЛ) слегка смещаются, соответственно, от линии БУС–ХУ запада и от угловой зоны центра. Чередуются сейсмогенные обстановки сжатия (СБ, БУС) и растяжения (АКАД, ДЕЛ). Сейсмическая обстановка начинает меняться между землетрясениями 31 января и 1 февраля.

29 января происходит слабая магнитная буря ( $K_p=5.2$ ), триггерное влияние которой на землетрясения не очевидно. Небольшие колебания ОВП ст. 9 30 января и 02 февраля могут быть связаны с деформациями ледового покрова оз. Байкал. Об этом свидетельствует отсутствие сопряженных с ОВП колебаний температуры и рН (график не показан). Из-за воздействия на берег ледового покрова озера, начавшегося 19 января при значении ОВП=352 мВ, медленное падение ОВП продолжается и 3 февраля достигает значения 302 мВ (рис. 8).



**Рис. 7.** Диаграммы вариаций ОВП 22–28 января 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з). СУВО и БАГД – события Суво и района Багдарина в угловой группе землетрясений центра БРС (широтная ветвь).

**Fig. 7.** Diagrams of ORP variations on January 22–28, 2026, in groundwater at station 9 (a) and station 184 (b) in comparison with temperature variations in groundwater at the same stations (v, z). БУВО and БАГД are the events of Suvo and the Bagdarin region in the angular earthquake group of the BRS center (west-eastern branch).



**Рис. 8.** Диаграммы вариаций ОВП 29 января – 04 февраля 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з). СУВО и БАГД – события Суво и района Багдарина в угловой группе землетрясений центра БРС (широтная ветвь).

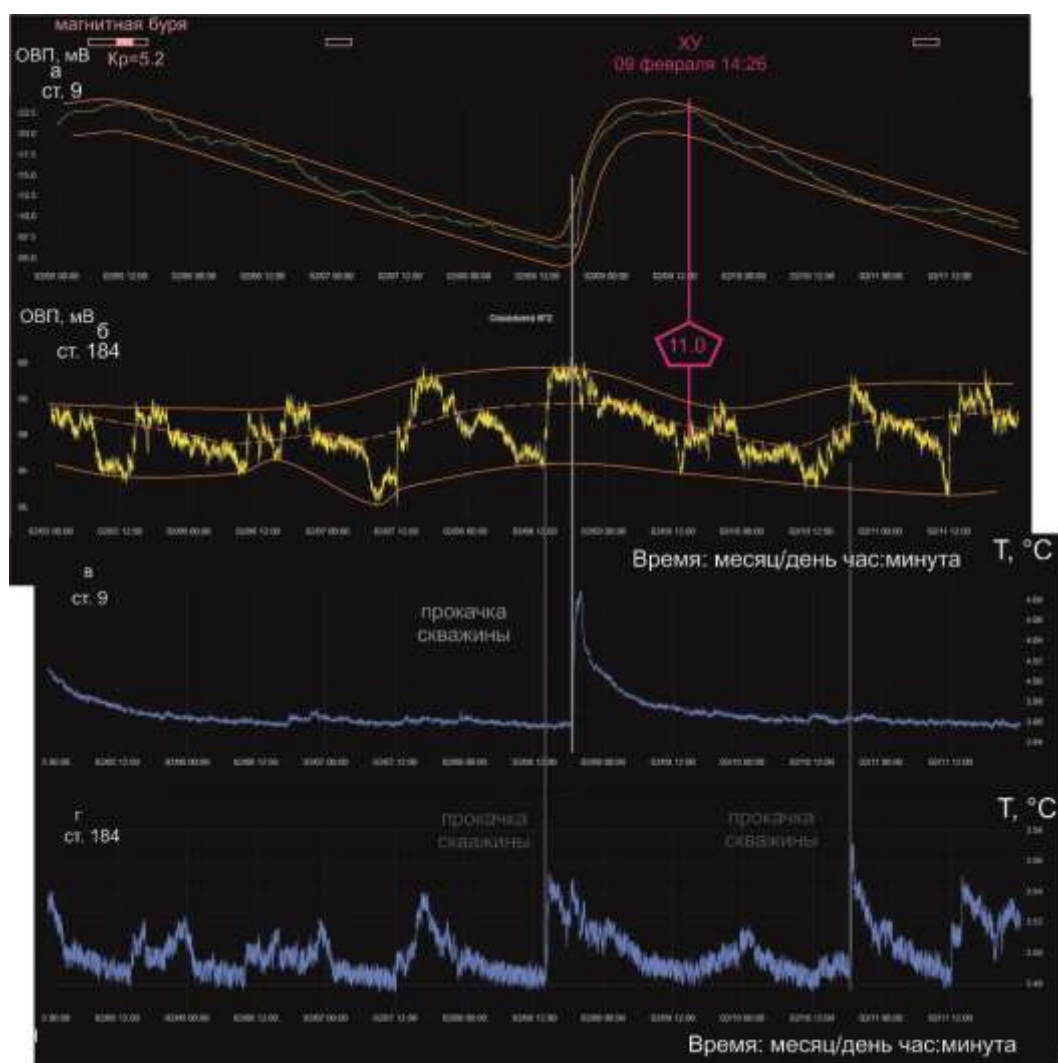
**Fig. 8.** Diagrams of ORP variations from January 29 to February 4, 2026, in groundwater at station 9 (a) and station 184 (b) in comparison with temperature variations in groundwater at the same stations (v, z). СУВО and БАГД are the events of the Suvo and Bagdarin areas in the angular earthquake group of the BRS center (west-east branch).

*04 – 11 февраля: реализуется землетрясение K=11 в кластере ХУ на западе БРС*

В записях ОВП не обнаруживается влияния ледового покрова оз. Байкал (кроме ступени общего снижения ОВП 26 января вследствие ледостава). Сейсмических откликов на слабые возмущения магнитосферы не наблюдается. В этих условиях на западе БРС, в кластере ХУ, происходит землетрясение

повышенной силы (K=11). Оно следует за слабыми землетрясениями (K=9.5): ХУ (25 января) и БУС (01 февраля) (см. рис. 1).

Прокачка скважины ст. 9 перед землетрясением ХУ 09 февраля сопровождается существенным возрастанием ОВП (реализуется эффект сжатия в Обручевском разломе). На ст. 184 проявляется средний уровень ОВП. Землетрясение ХУ соответствует выходу ОВП из минимума на средний уровень.



**Рис. 9.** Диаграммы вариаций ОВП 05–11 февраля 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, г). ХУ – Хубсугул (кластер афтершоков).

**Fig. 9.** Diagrams of ORP variations on February 05–11 in groundwater of station 9 (a) and station 184 (б) in comparison with temperature variations in groundwater of the same stations (в, г). ХУ – Khovsgol (cluster of aftershocks).

*12 – 18 февраля: слабые землетрясения приблизительно одной силы ( $K=9.7–10.0$ ) реализуются на западе, в центре и на востоке БРС*

В записях ОВП по-прежнему не обнаруживается влияния ледового покрова оз. Байкал. Прокачка скв. ст. 9 15 февраля дает эффект возрастания ОВП от 307 до 324 мВ. Резкий подъем значений этого параметра отражает подготовленность коры к сейсмогенным деформациям. Подобно такому же состоянию прошедшей недели с Хубсугульским землетрясением 09 февраля (ХУ,  $K=11$ ), 15 февраля реализуется Задархатское землетрясение (ЗАДР,  $K=10.0$ ). Кроме того, в

начале рассматриваемого интервала, 12 февраля, происходит Горячинское землетрясение в центре (ГОРЯ,  $K=9.9$ ) и ближе к концу интервала, 17 февраля, – Умхейское землетрясение на востоке (УМХЕЙ,  $K=9.7$ ).

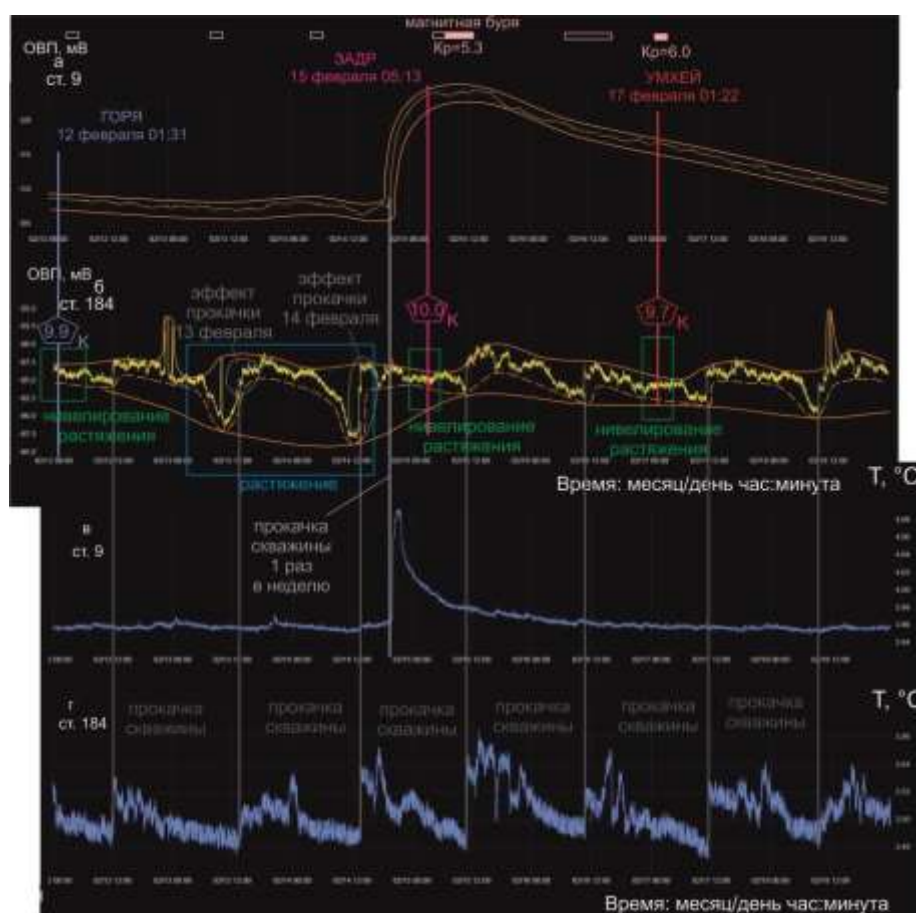
В отличие от одиночной прокачки в неделю скв. ст. 9, прокачка скв. ст. 184 осуществляется каждый день. В результате повышенного забора воды в середине дня резко возрастает температура. 13 и 14 февраля в ночные и утренние часы наблюдается снижение ОВП с образованием глубоких минимумов. Прокачка 13 февраля приходится на выход из глубокого минимума с небольшой амплитудой ускорения подъема ОВП, тогда как

прокачка 14 февраля начинается на минимуме и дает большую амплитуду подъема ОВП. Глубокие минимумы ОВП 13 и 14 февраля в подземных водах ст. 184 обозначают состояние усилившегося растяжения под Култукской тектонической ступенью, между состояниями его нивелирования при землетрясении ГОРЯ 12 февраля и землетрясения ЗАДР 15 февраля. Состояние нивелирования растяжения определяется также во время землетрясения УМХЕЙ 17 февраля.

В вариациях ОВП подземных вод ст. 184 имеются три пика: первый – в ночь с 12 на 13 февраля (с 22 ч. 14 мин. до 23 ч. 52 мин.),

второй – утром того же дня (с 09 ч. 24 мин. до 09 ч. 52 мин.), третий – в полдень 18 февраля (с 12 ч. 00 мин. до 12 ч. 42 мин.). Подобные пики ОВП наблюдались прежде 30 января и 3 февраля (см. рис. 8). Это было время сейсмической перестройки и проявление влияния ледового покрова оз. Байкал.

В отличие от предшествующей недели, в которую землетрясение ХУ не совпадало по времени с возбуждениями магнитосферы, на текущей неделе такое совпадение намечается. Все три землетрясения сопутствуют возбуждениям магнитосферы (рис. 10).



**Рис. 10.** Диаграммы вариаций ОВП 12–18 февраля 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з). ЗАДР – Задархатское землетрясение.

**Fig. 10.** Diagrams of ORP variations on February 12–18 in groundwater of station 9 (a) and station 184 (b) in comparison with temperature variations in groundwater of the same stations (v, z). ЗАДР – Zardarkhat earthquake.

19 – 25 февраля: реализуются слабые землетрясения ( $K=9.5-9.9$ ) на востоке и в

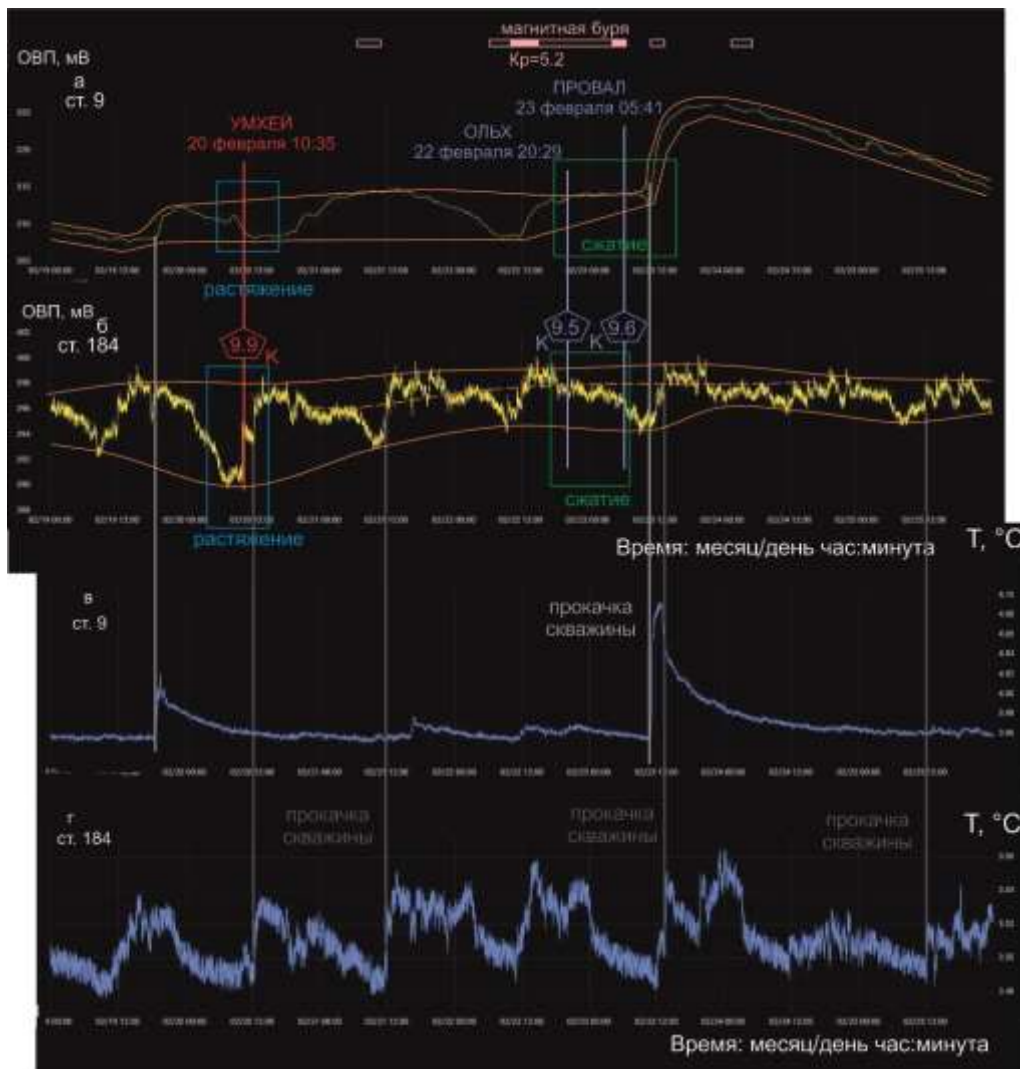
центре БРС, совпадающие с магнитной бурей

В записях ОВП по-прежнему не обнаруживается влияния ледового покрова оз.

Байкал. Прокачка скв. ст. 9 19 февраля приводит лишь к слабому возрастанию ОВП от 308 до 312 мВ. В дальнейшем колебания ОВП приблизительно в этом же диапазоне продолжают до следующей прокачки скважины 23 февраля. В этот раз наблюдается более заметный подъем ОВП (до 327 мВ) с последующим плавным снижением, характерным для записей предшествующих недель.

В начале временного интервала 19–23 февраля с аномальными записями ОВП (20 февраля) происходит слабое Умхейское землетрясение на востоке БРС (УМХЕЙ,  $K=9.9$ ), а в конце этого интервала (22 и 23 февраля) –

два слабых землетрясения в центре (ОЛЬХ,  $K=9.5$ ; ПРОВАЛ,  $K=9.6$ ). Аномалия ОВП записей истолковывается как отклик на реализацию землетрясений. Землетрясение УМХЕЙ совпадает с минимумами ОВП обеих мониторинговых станций, свидетельствующими о сейсмогенном растяжении коры. Землетрясения ОЛЬХ и ПРОВАЛ реализуются перед максимумом ОВП 23 февраля ст. 9 и на промежуточной ступени ОВП ст. 184, что может соответствовать условиям сжатия коры. В то же время, нельзя не отметить совпадение двух землетрясений центра БРС с проявлением магнитной бури (рис. 11).



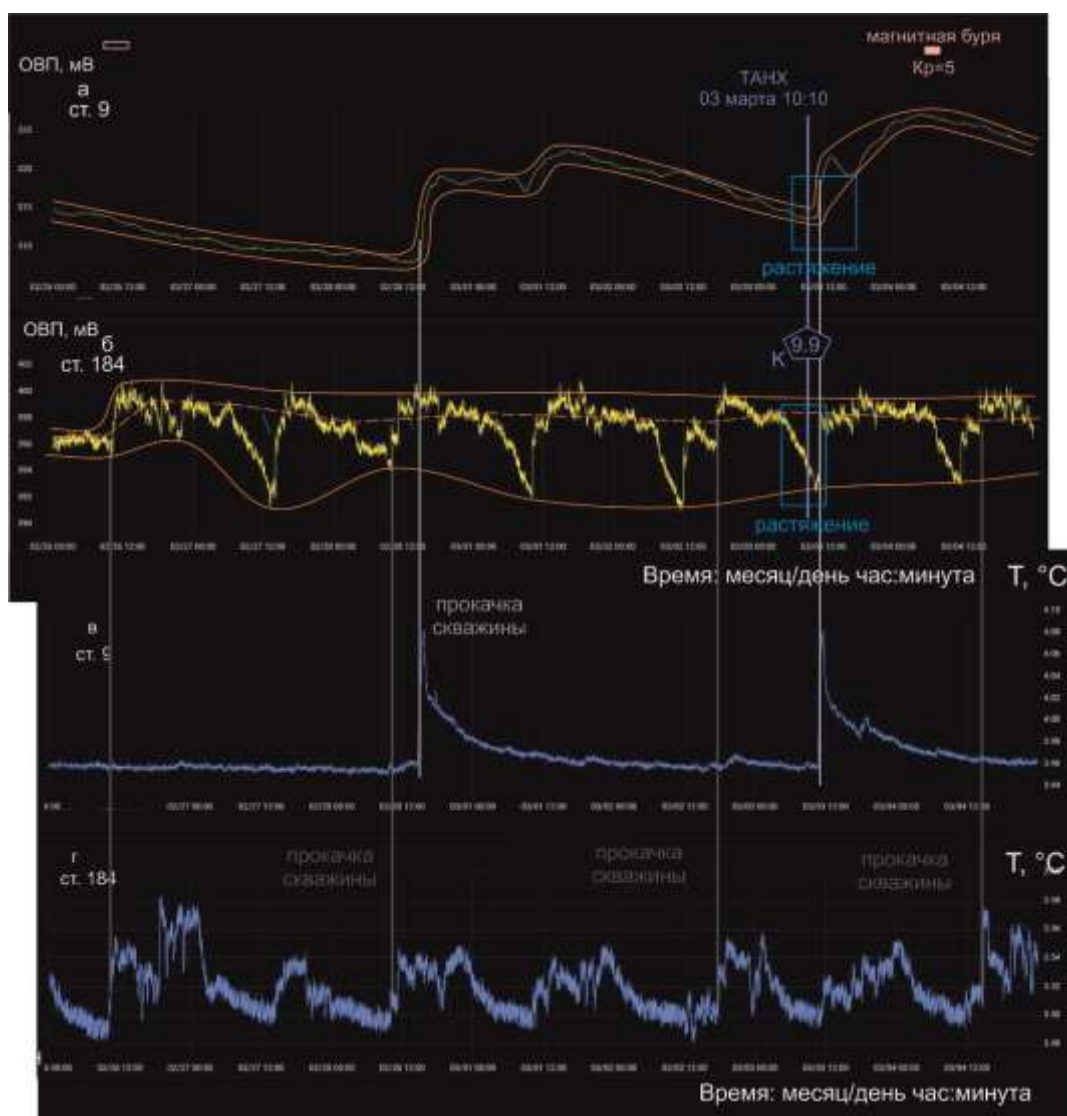
**Рис. 11.** Диаграммы вариаций ОВП 19–25 февраля 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, г).

**Fig. 10.** Diagrams of ORP variations on February 19–25 in groundwater of station 9 (a) and station 184 (b) in comparison with temperature variations in groundwater of the same stations (в, г).

**26 февраля – 04 марта: происходит слабое одиночное землетрясение ( $K=9.9$ ) в центре БРС**

В записях ОВП по-прежнему не обнаруживается влияния ледового покрова оз. Байкал. Две прокачки скв. ст. 9 (28 февраля и 3 марта) приводят к более заметному (чем на прошедшей неделе) возрастанию ОВП (от 308 до 323 мВ при первой прокачке и от 315 мВ до 325 мВ – при второй). В обеих прокачках наблюдаются осложнения линий подъема ОВП локальными минимумами. При первой

прокачке землетрясений не происходит, при второй – реализуется слабое Танхойское землетрясение (ТАНХ,  $K=9.9$ ). Второе (косейсмическое) осложнение минимумом подъема ОВП ст. 9 может быть связано с реализацией землетрясения ТАНХ в условиях растяжения коры в Обручевском разломе. На ст. 184 землетрясению ТАНХ соответствует минимум (рис. 12), поэтому условия косейсмического растяжения коры распространяются и на Култукскую тектоническую ступень осевой части рифтовой структуры.



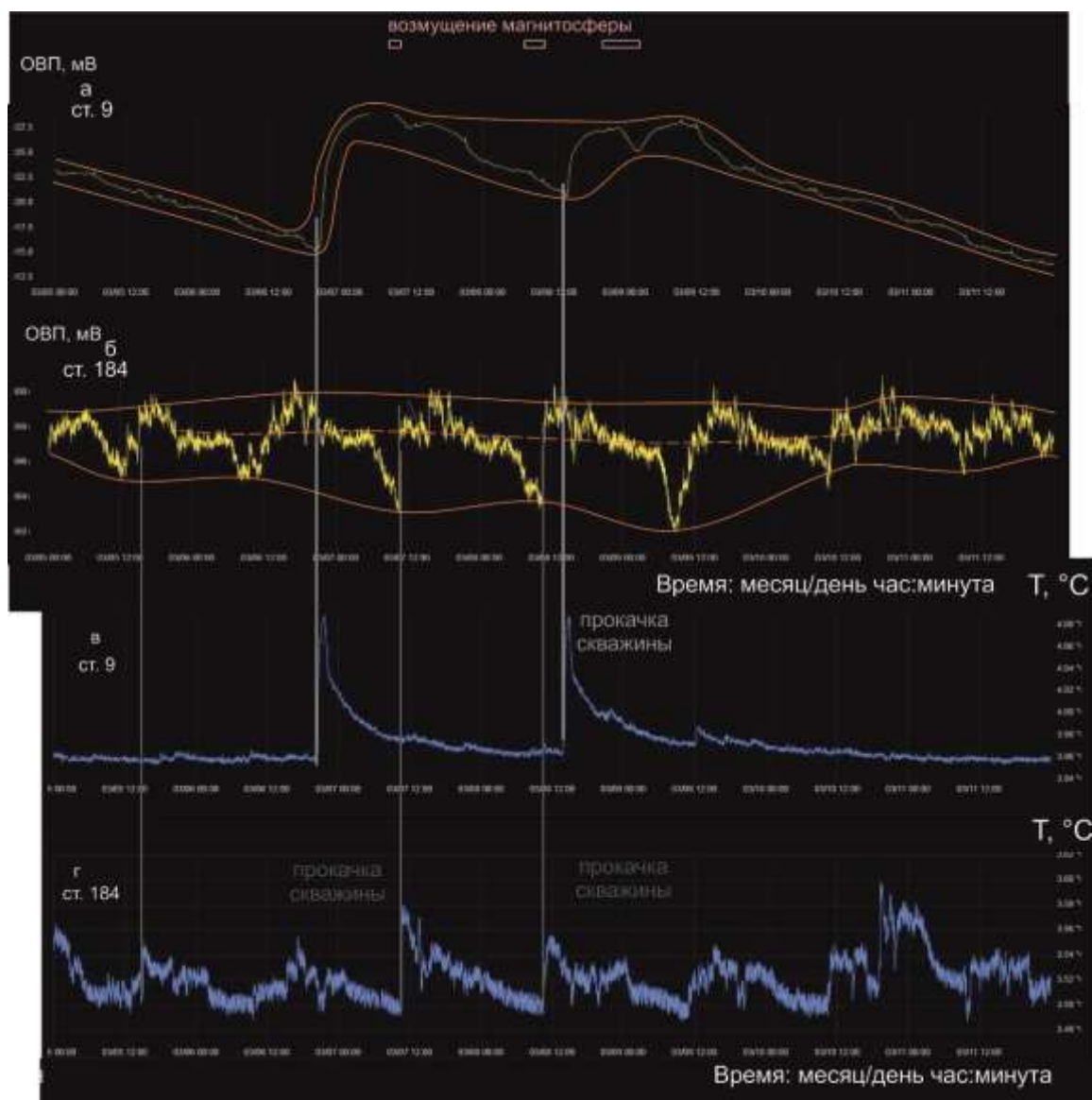
**Рис. 12.** Диаграммы вариаций ОВП 26 февраля – 04 марта 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з). ТАНХ – землетрясения района Танхой.

**Fig. 12.** Diagrams of ORP variations on February 26 – March 04, 2026 in groundwater of station 9 (a) and station 184 (b) in comparison with temperature variations in groundwater of the same stations (v, z). ТАНХ – earthquake in the Tankhoy area.

*05 – 11 марта: землетрясения отсутствуют*

При прокачках скважины ст. 9 минимальные значения ОВП 08 марта возрастают

до 322 мВ. На ст. 184 в начале и в конце недели диапазон ОВП сужается, а в середине недели – увеличивается (рис. 13).



**Рис. 13.** Диаграммы вариаций ОВП 05–11 марта 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з).

**Fig. 13.** Diagrams of ORP variations on March 05–11 in groundwater of station 9 (a) and station 184 (b) in comparison with temperature variations in groundwater of the same stations (v, z).

*12–18 марта: после сейсмической перестройки зарождается новый сейсмический импульс на востоке БРС*

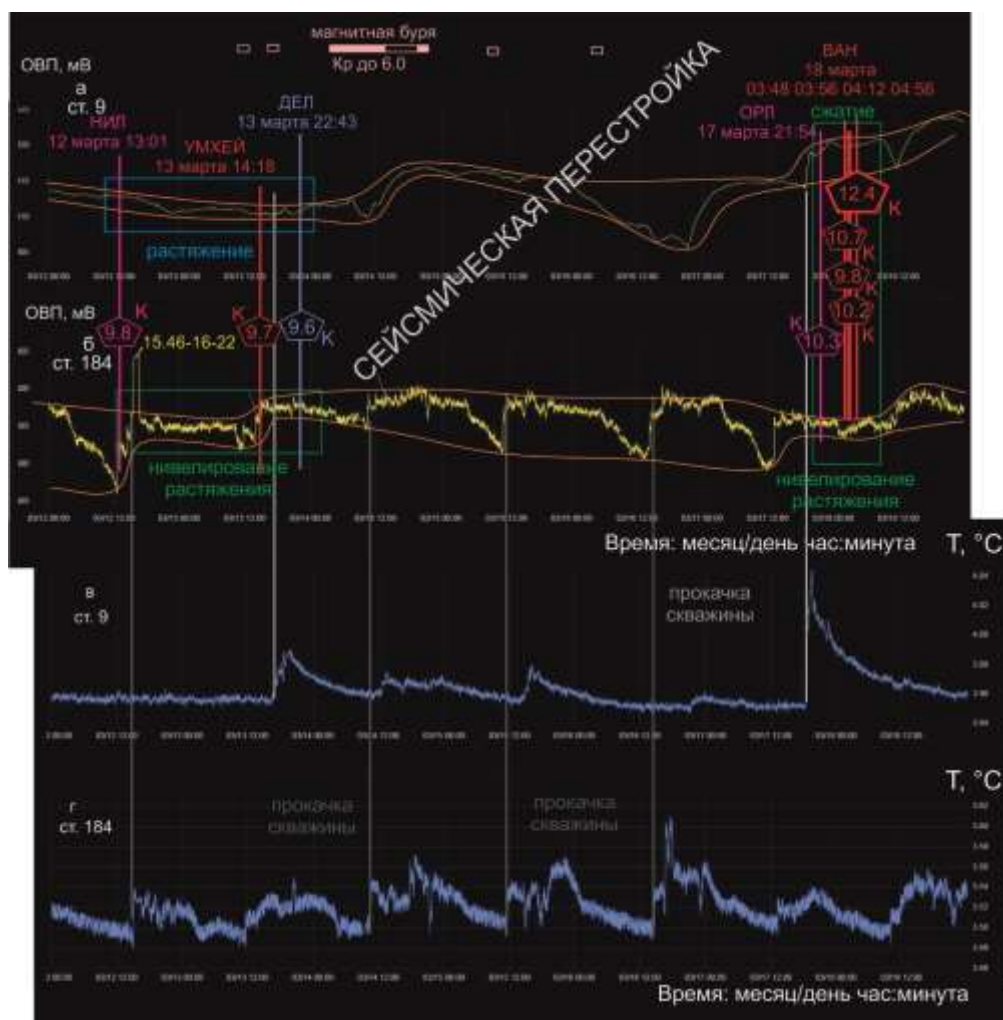
Во время слабых землетрясений 12–13 марта на западе (НИЛ), на востоке (УМХЕЙ) и в центре (ДЕЛ) БРС записи ОВП ст. 9 находятся на минимуме (311 мВ), тогда как на ст. 184 режим глубоких минимумов предшествующей асейсмичной недели сменяется в эти

дни режимом без минимумов. Минимум на первой станции соответствует состоянию растяжения коры в Обручевском разломе, нивелирование минимумов на второй отражает компенсацию растяжения коры под Култукской тектонической ступенью. Резкое поднятие ОВП ст. 184 12 марта (с 15 ч. 46 мин. до 16 ч. 22 мин.) показывает короткий сжимающий эффект, который следует сразу после

выхода ОВП из глубокого минимума, связанного с Ниловским землетрясением.

С 14 до 17 марта землетрясения отсутствуют. На ст. 9 ОВП возрастает, а затем снижается (возможно, под влиянием магнитной бури). На ст. 184 наблюдаются глубокие минимумы. Этот интервал – время сейсмической перестройки, выраженной в смене несогласующихся между собой сжатия и растяжения в Обручевском разломе и осевой Култукской тектонической ступени к согласованному сжатию, которое обозначает рождение нового сейсмического импульса на востоке БРС.

Вечером 17 марта реализуется слабое Орликское землетрясение на западе БРС, в ночь на 18 марта – четыре Верхне-Ангарских землетрясения на востоке с энергетическими классами от 10.2 до 12.4 (рис. 14). Землетрясения характеризуются подъемом ОВП ст. 9 (сжатием коры Обручевского разлома) и нивелированием минимумов ОВП ст. 184 (компенсацией растяжения коры под Култукской тектонической ступенью). Реализуются сейсмические события повышенной силы при согласовании проявления сжимающих усилий на полигоне в разных структурных условиях.



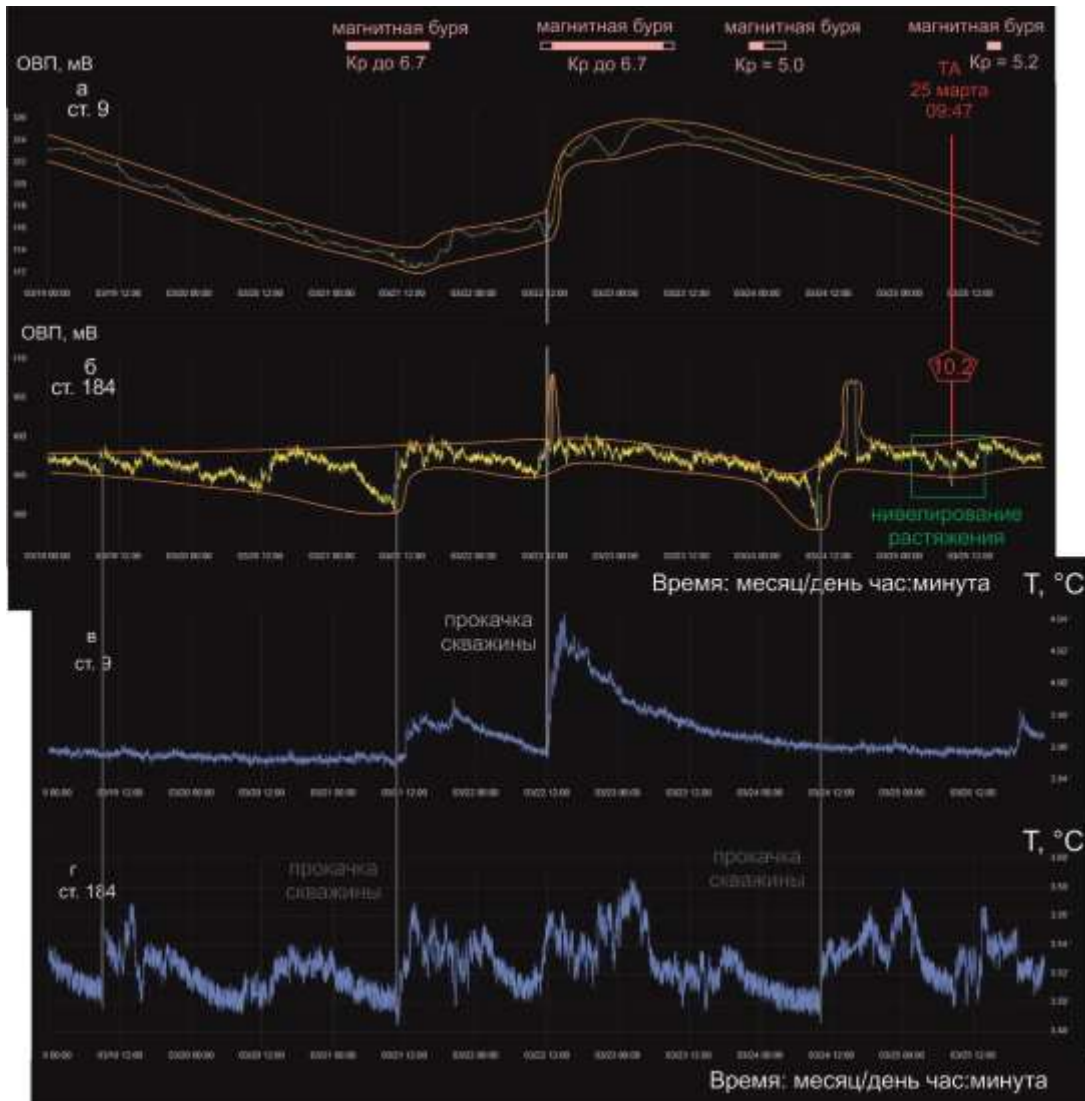
**Рис. 14.** Диаграммы вариаций ОВП 12–18 марта 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з). Землетрясения: НИЛ – Ниловское, УМХЕЙ – Умхейское, ДЕЛ – Дельтовое, ОРЛ – Орликское, ВАН – Верхнеангарское (4 события).

**Fig. 14.** Diagrams of ORP variations on March 12–18 in groundwater of station 9 (a) and station 184 (b) in comparison with temperature variations in groundwater of the same stations (v, z). Earthquakes: НИЛ – Nilovka, УМХЕЙ – Umkhey, ДЕЛ – Delta, ОРЛ – Orlik, ВАН – Verkhnyaya Angara (4 events).

**19–25 марта: магнитные бури разделяются во времени со слабым землетрясением на востоке БРС**

Землетрясение Таксимо (ТА) реализуется на востоке БРС точно через неделю после группы землетрясений ВАН. В записях ОВП ст. 9 землетрясение ТА приходится на нисходящую линию после прокачки скважины и в частных вариациях этого параметра не

отражается. В записи ОВП ст. 184 землетрясение ТА соответствует нивелированию растяжения коры под Култукской тектонической ступенью. Следовательно, в косейсмических деформациях сохраняется режим, установившийся при рождении нового сейсмического импульса на востоке БРС 17–18 марта. Четыре магнитные бури не сопровождаются землетрясениями (рис. 15).



**Рис. 15.** Диаграммы вариаций ОВП 19–25 марта 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, г).

**Fig. 15.** Diagrams of ORP variations on March 19–25 in groundwater of station 9 (a) and station 184 (b) in comparison with temperature variations in groundwater of the same stations (v, z).

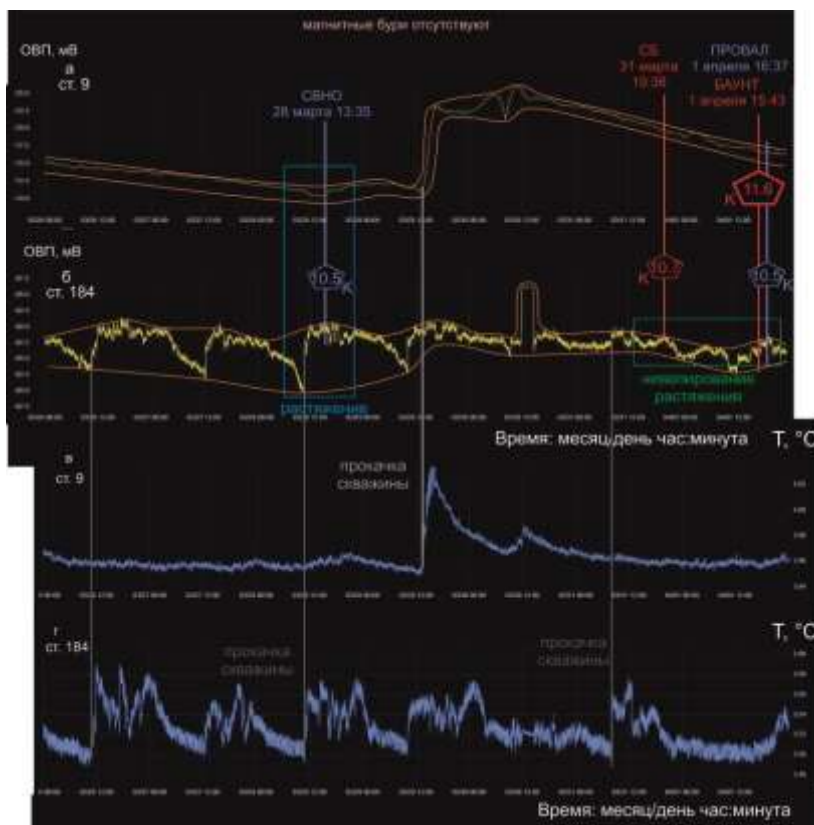
**26 марта – 1 апреля: слабые и умеренные землетрясения продолжают на востоке БРС**

На этой неделе отсутствуют магнитные бури. В суточных вариациях ОВП ст. 184 в первой половине текущей недели (с 26 до 29

марта) утром наблюдается глубокий минимум, который нивелируется во второй половине дня и в ночное время. Во второй половине недели (с 29 марта до 1 апреля) глубокие минимумы не образуются.

В первую половину недели (28 марта) реализуется землетрясение центра БРС в районе п-ова Святой Нос. Ему соответствуют записи ОВП на ст. 9 со слабым минимумом и на ст. 184 – отрезка с глубокими минимумами. Это состояние может соответствовать условиям растяжения коры на полигоне. Во вторую половину недели (31 марта и 1 апреля) следуют землетрясения востока БРС, Северо-

Байкальское (СБ) и Баунтовское (БАУНТ). Последнее из них имеет повышенный энергетический класс ( $K=11.6$ ). Сразу после него происходит землетрясение центра БРС в районе залива Провал (ПРОВАЛ). Записи ОВП ст. 184 могут свидетельствовать о нивелировании растяжения коры в осевой части БРС, под Култукской тектонической ступенью (рис. 16).



**Рис. 16.** Диаграммы вариаций ОВП 26 марта – 1 апреля 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, г). СВНО – землетрясение с эпицентром северо-восточнее полуострова Святой Нос.

**Fig. 16.** Diagrams of ORP variations on March 26 – April 1 in groundwater of station 9 (a) and station 184 (б) in comparison with temperature variations in groundwater of the same stations (в, г). СВНО – an earthquake with an epicenter northeast of the Svyatoy Nos peninsula.

### Обсуждение результатов

Основная цель мониторинга ОВП подземных вод Култукского полигона – оперативная оценка сейсмогенного состояния коры БРС. Приведенные результаты анализа сейсмичности последних месяцев 2025 г. – первых месяцев 2026 г. с включением новых записей ОВП подземных вод трех месяцев 2026 г. должны, прежде всего, учитывать мешающие эффекты регистрации землетрясений по

вариациям ОВП: магнитные бури и пьезоэлектрические ОВП-эффекты ледового покрова оз. Байкал. Констатируется общая смена пьезоэлектрических ОВП-эффектов ледового покрова оз. Байкал с 2024 до 2026 гг. Рассматриваются источники происхождения сил в образовании структуры БРС, поскольку этот вопрос напрямую связан с реализацией первоначальных и последующих событий сейсмических импульсов и, в конечном счете, с созданием условий проявления

сильных землетрясений. Состояние коры определяется в оперативном порядке по записям ОВП в контексте сейсмичности на западе и востоке БРС. Обращается внимание на образование в феврале-марте 2026 г. на западе, востоке и в центре БРС линий землетрясений, играющих сейсмопрогностическую роль.

#### *Связь землетрясений с магнитными бурями*

В сейсмически активном регионе Казахстана и Кыргызстана количество землетрясений, происходивших после бурь, увеличивалась в одних районах (положительный эффект) и уменьшалась в других (отрицательный эффект) (Соболев и др., 2001). Имеется связь землетрясений с магнитными бурями на уровне статистических зависимостей (Гульельми и др., 2020; Marchitelli et al., 2020; Buchachenko, 2023).

При ОВП-мониторинге на Култукском полигоне устанавливается прямая зависимость электрических эффектов от магнитосферных бурь. В общей последовательности землетрясений проявляется их воздействие на кору, отражающееся в сейсмогенных деформациях запада БРС в ноябре-декабре 2025 г., которое, в сущности, нивелировало в той или иной мере существовавшие аномалии тектонических напряжений этой структуры. В серии сейсмогенерирующих импульсов, следующих за этой разрядкой, сейсмическая активность переходит в январе 2025 г. с запада на восток (землетрясение СБ 19 января), в феврале возвращается на запад (землетрясение ХУ 09 февраля), а в марте – вновь проявляется на востоке (землетрясение ВАН 18 марта).

#### *Смена пьезоэлектрических ОВП-эффектов ледового покрова оз. Байкал с 2024 до 2026 гг.*

Для регистрации сейсмогенных деформаций коры, кроме магнитных бурь, мешающее действие оказывают пьезоэлектрические эффекты ледового покрова оз. Байкал. Сенсор ст. 9 находится в скважине, приблизительно,

на уровне зеркала оз. Байкал. Три года наблюдений вариаций ОВП при ледоставе свидетельствуют о непостоянстве этих эффектов.

В 2024 г. в записях ОВП ст. 9 наблюдались весьма отчетливые минимумы ОВП, вызванные пьезоэлектрическими эффектами деформаций ледового покрова Байкала. Электрический характер эффектов был выявлен в самом начале их появления в интервале 07–14 февраля 2024 г. (Снопков и др., 2024). По результатам последующих наблюдений, эти эффекты вписались в 30-суточную активность импульс-генерирующего процесса, который регулировался с 07 февраля до 07 марта 2024 г. квадратурными и сизигийными лунно-солнечными приливами (Асламов и др., 2024).

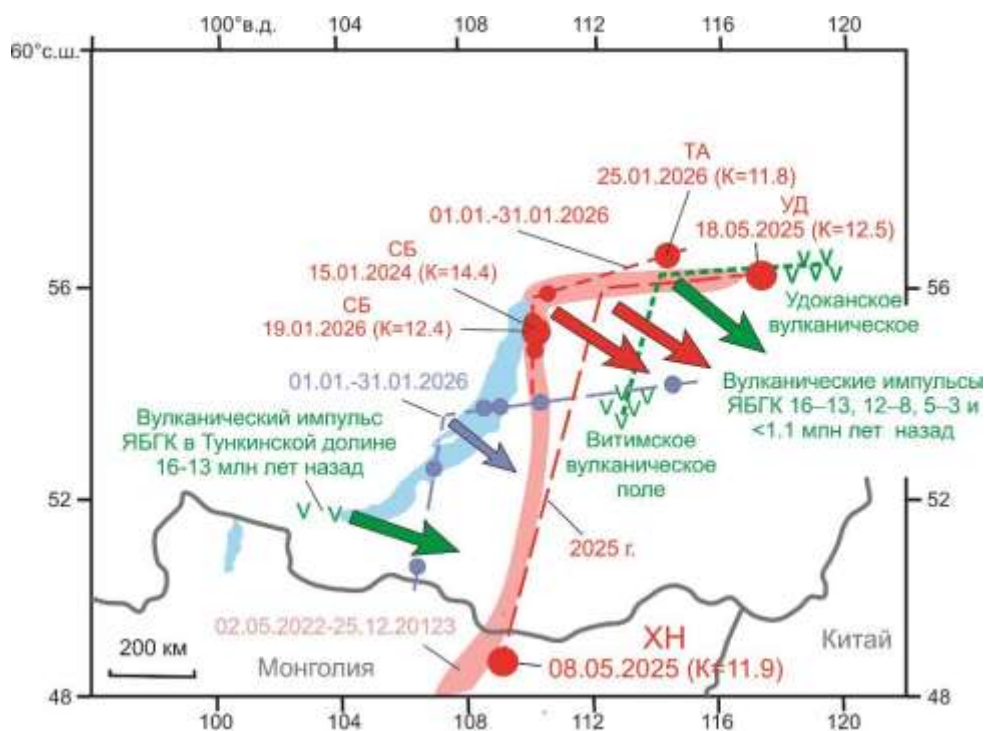
В феврале-марте 2025 г. подобных ОВП-эффектов в записях ст. 9 не наблюдалось. 2025-й год отличался от 2024-го года более теплой зимой. Лед сковал Байкал в районе Култукского полигона в 2024 г. около 15 января, а в 2025 г. – около 28 января. В 2025 г. на Байкале образовалось более тонкое ледовое покрытие, чем в 2024 г. Такое различие между ледовыми покровами могло иметь следствие. Эффекты ОВП с электрической конфигурацией на ст. 9 (Снопков и др., 2024) в 2025 г. отсутствовали. 30-дневный контроль ОВП-импульсов лунно-солнечными приливами, выявленный в начале 2024 г., в начале 2025 г. не проявился. В январе и феврале 2025 г. имели место возмущения ОВП, запаздывающие относительно магнитных бурь. Три последовательно усиливающихся импульса этого типа проявились в начале марта 2025 г. (Рассказов и др., 2025а).

В 2026 г. лед оз. Байкал встал в районе Култукского полигона 18 января. Каких-либо особых эффектов, подобных эффектам ледостава двух прошедших лет, не наблюдалось вплоть до 26 января, когда в 05 ч. 51 мин. значения ОВП резко снизились (см. рис. 7). Это падение ОВП было единственным вероятным проявлением ледостава 2026 г.

*В какой части БРС начинается  
сейсмическое возбуждение коры?*

В исходной трактовке развития Байкальской рифтовой зоны (БРЗ), основанной на распределении во впадинах осадочных отложений, указывается ход ее разрастания от Южно-Байкальского исторического ядра в северо-восточном направлении (Логачев, 2003). Такая трактовка развития структуры БРЗ исходила из предположения об «активном» растяжении литосферы в результате подъема мантийного диапира, начавшегося около 30 млн лет назад (Logatchev, Zorin, 1992). Этой гипотезе не противоречило предположение о вращении Забайкалья относительно Сибирской платформы вокруг оси, расположенной на северо-востоке БРЗ, которое основывалось на современной ориентировке осей растяжения в очагах землетрясений и интерпретации гравиметрических данных (Зоненшайн и др., 1978; Зорин, Корделл, 1991). Пространственная смена компактных вулканических полей востока БРС (Удоканского и Витимского) обширными вулканическими полями запада этой структуры в общем также не противоречила гипотезе о вращении в БРЗ (Rasskazov, 1994). «Активное» растяжение литосферы предполагало действие начальных растягивающих усилий в центре рифтовой структуры с последующим распространением на ее восточное и западное окончания. Согласно этой гипотезы, сильные сейсмогенные тектонические движения должны зарождаться в центре БРС, а затем распространяться на восток и запад.

Предположение о главенстве «активных» усилий в ядре БРЗ, однако, становится сомнительным в результате углубленного изучения пространственно-временного распространения вулканизма и его источников. Вулканизм отсутствует в Южно-Байкальской впадине и сопредельных территориях и концентрируется на западном и восточном окончаниях рифтовой структуры, в Японско-Байкальском геодинамическом коридоре (ЯБГК) и Саяно-Монгольском секторе Индо-Азиатской конвергенции (СМСИАК). Соответственно, тектонические усилия создаются на окончаниях БРС, а затем передаются в центр. Усилия ЯБГК и СМСИАК расшифровываются через смену источников вдоль БРС и пространственно-временное распределение позднекайнозойского вулканизма. Осевая Витимская расплавная аномалия ЯБГК зарождается в среднем миоцене в глубокой мантии и задает импульс, распространяющийся вдоль угловой Витимо-Удоканской зоны горячей трансенсии до Удоканской периферической расплавной аномалии ЯБГК в связи с осевым затягиванием материала литосферы и подлитосферной мантии. В последние 16 млн лет импульсы угловой Витимо-Удоканской зоны горячей трансенсии повторяются: 1) 16–13, 2) 12–8, 3) 5–3 и 4) <1.1 млн лет назад (Chuvashova et al., 2017) (рис. 17). Силовое действие СМСИАК и ЯБГК обусловило сегментное строение БРС (Рассказов, 1996).



**Рис. 17.** Схема пространственных соотношений двойного углового распределения землетрясений ЯБГК на востоке и в центре БРС в январе 2026 г. с предшествующим угловым распределением землетрясений в 2022–2025 гг. и угловым проявлением позднекайнозойских вулканических импульсов ЯБГК. Для землетрясений используются условные обозначения рис. 1. Обозначения, касающиеся позднекайнозойского вулканизма, выделены зеленым цветом.

**Fig. 17.** Schematic drawing of spatial relationship between the double angular distribution of JBGK (Japan-Baikal Geodynamic Corridor) earthquakes in the east and center of the BRS in January 2026 with the preceding angular distribution of earthquakes in 2022–2025 and the angular displaying late Cenozoic volcanic impulses of the JBGK. Symbols for earthquakes are as in Fig. 1. Data on late Cenozoic volcanism are highlighted in green.

Обширная область вулканизма СМСИАК характеризуется источниками малых глубин мантии и коры. Пространственно-временная миграция вулканизма на западе БРС характеризует квазипериодические деформации литосферы в последние 18 млн лет под действием силовых источников: дивергентного (байкальского, производного осевой части ЯБГК) и конвергентного (чулутынского, производного Индо-Азиатского взаимодействия). Дивергентные и конвергентные силы определяют не только длительные процессы, запечатленные во времени и пространстве в вулканических импульсах квазипериодов великих циклов эксцентриситета, но и современные короткопериодические деформации коры, реализующиеся в сильных сейсмических активизациях (Рассказов и др., 2022).

По аналогии с позднекайнозойскими угловыми зонами горячей трансенсии, отражающими деформационные процессы ЯБГК, подобную интерпретацию затягивания материала к оси этой структуры Востока Азии дает угловое распределение землетрясений. В определении угловых сейсмических структур важна регистрация их пространственной воспроизводимости. Такая структура обозначилась в конце Байкало-Хубсугульской сейсмической активизации, в интервале с 02.05.2022 до 25.12.2023. Затем, 27 декабря 2023 г. последовало первое Северо-Байкальское землетрясение ( $K=13.6$ ), а 15 января 2024 г. – второе Северо-Байкальское землетрясение ( $K=14.4$ ). Оба эпицентра находились в углу сейсмической угловой структуры. На основе второго Северо-Байкальского землетрясения

активизировалась эта же сейсмическая структура в январе 2026 г. с афтершоками и событием повышенного энергетического класса СБ ( $K=12.4$ ) (рис. 16), обозначая силовой импульс ЯБГК. С приходом сейсмического импульса 18 марта в угловой структуре вновь реализуется сейсмическое событие повышенного энергетического класса ВАН ( $K=12.1$ ).

Особенность январского сейсмогенного состояния коры – одновременное проявление углового распределения землетрясений на востоке и в центре БРС. Линия землетрясений в кластерах ВАН (Верхняя Ангара) и ТА (Таксимо) пространственно соответствует Верхне-Ангарскому трэнстенционному сегменту (Рассказов, Чувашова, 2024). Субширотная ветвь землетрясений центра БРС пространственно соответствует Ямбульской зоне трэнстенсии, протягивающейся от Среднего Байкала через южную оконечность Баргузинской долины в Западное Забайкалье (Рассказов и др., 2023). Механизм осевого затягивания распространяется в январе не только на восток, но и в центр БРС. В рамках наблюдений первых трех месяцев 2026 г. энергия сейсмических событий востока превышает энергию сейсмических событий центра. Пока неясно, возможен ли сценарий двойного углового распределения землетрясений с осевым затягиванием ЯБГК в центре и на востоке с превышением энергии землетрясений центра?

В связи с постановкой этого вопроса отметим, что процессы ЯБГК воздействовали на источники вулканизма 16–15 млн лет назад одновременно на востоке БРС (в Витимо-Удоканской угловой зоне горячей трэнстенсии) и на западе БРС (в восточной и центральной частях Тункинской долины) (Рассказов и др., 2026). Повторение сценария

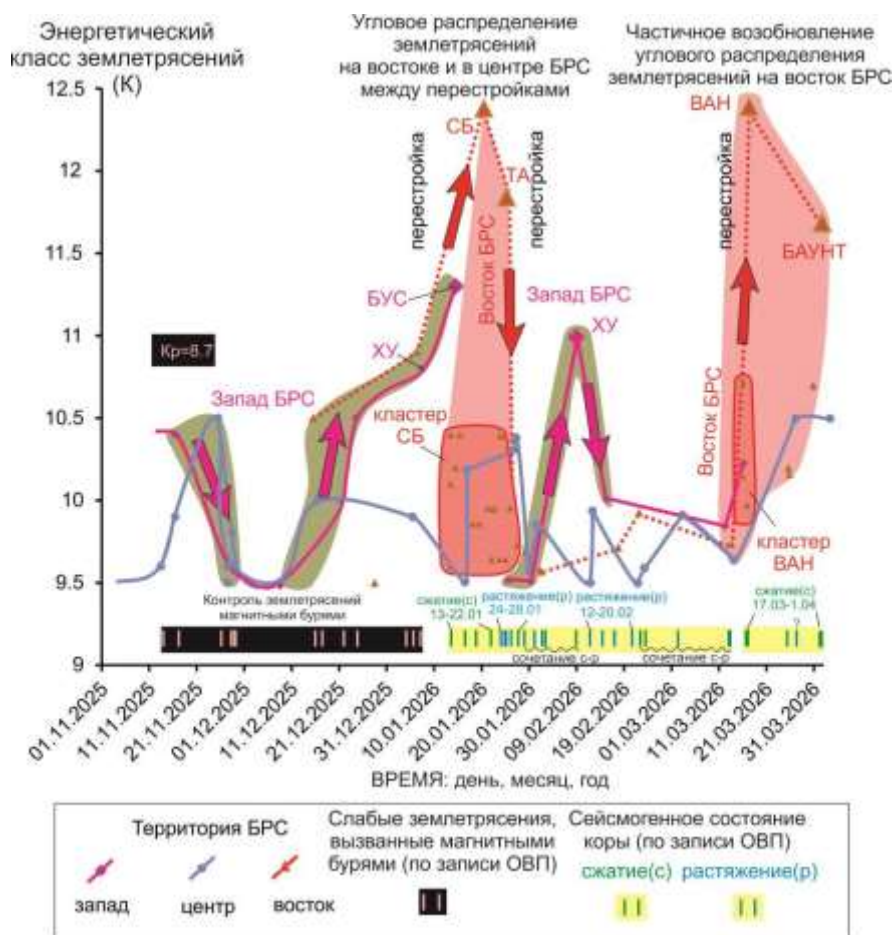
распространения растяжения ЯБГК вдоль Тункинской долины может привести к возобновлению вулканизма в ее центральной части.

#### *Реконструкции состояния коры по записям ОВП в контексте сейсмичности на западе и востоке БРС*

В ноябре 2025 г. энергетический класс землетрясений запада БРС снижается, а в декабре возрастает. По записям ОВП определяется контроль землетрясений магнитными бурями. Из-за мешающего эффекта магнитных бурь реконструкция растягивающих и сжимающих усилий коры в этом временном интервале невозможна.

Подъем энергии землетрясений запада БРС сопровождает сейсмическую перестройку начала января, в результате которой сейсмичность перераспределяется с запада на восток. С 13 до 22 января по записям ОВП регистрируются условия сейсмогенного сжатия коры на Култукском полигоне, с 24 до 28 января – условия растяжения. Последующая перестройка выражается в быстрой смене состояний сжатия и растяжения. В этом режиме осуществляется выход на землетрясение ХУ запада БРС с повышенным энергетическим классом ( $K=11$ ).

При слабых и относительно редких землетрясениях с 12 до 20 февраля кора Култукского полигона растягивается. После 20 февраля следует интервал слабых землетрясений, реализующихся в условиях смены сжатия и растяжения коры при редких и слабых землетрясениях (22–23 февраля, 3 марта и 12–13 марта). После перестройки 13–17 марта действует сейсмогенное сжатие коры, которое приводит к усилению сейсмичности на востоке БРС (рис. 18).



**Рис. 18.** График временного изменения энергетического класса (К) землетрясений БРС с 1 ноября 2025 г. до 31 марта 2026 г. на западе, в центре и на востоке БРС в сопоставлении с временным интервалом проявления в записях ОВП триггерной роли магнитных бурь, вызывающих землетрясения, и временными интервалами проявления сейсмогенного сжатия и растяжения коры. Стрелками показано возрастание и снижение энергии землетрясений на западе и востоке БРС.

**Fig. 18.** Graph of the temporal change in the energy class (K) of earthquakes in the BRS from November 1, 2025, to March 31, 2026, in the west, center, and east of the BRS in comparison with the time interval of ORP displaying triggering role of magnetic storms causing earthquakes, and the time intervals of ORP recorded seismogenic compression and extension of the crust. Arrows indicate the increase and decrease in earthquake energy in the west and east of the BRS.

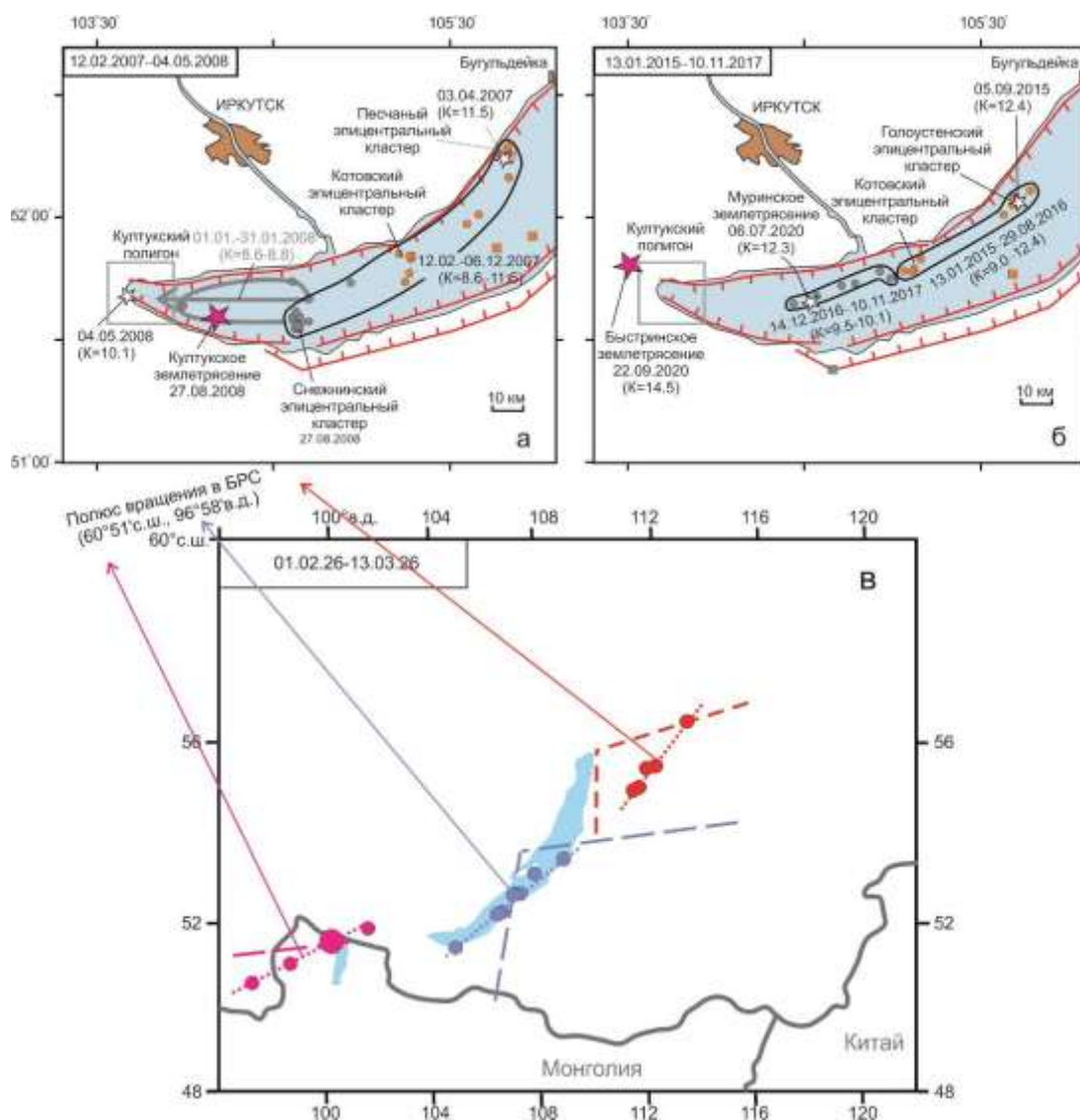
**Сопоставление Танхойской линейной зоны землетрясений с линейными зонами землетрясений, связанных с подготовкой сильных землетрясений в БРС**

Линейное распределение эпицентров землетрясений на Южном Байкале предшествовало Култукскому сильному землетрясению 27 августа 2008 г. Култукской сейсмической активизации 2008–2011 гг. и Быстринскому сильному землетрясению 22 сентября 2020 г. Байкало-Хубсугульской сейсмической активизации 2020–2023 гг. (рис. 19). В статье, опубликованной 09 апреля 2020 г. (Rasskazov et al., 2020), проводилось сравнение стадий А,

Б, В и Г подготовки этих землетрясений. В качестве исходного в подготовке следующего сильного землетрясения принималось начальное землетрясение Котовской активизации 08.01.2013. К апрелю 2020 г. прошло пространственно-временное развитие сейсмического процесса, сходное по стадиям А, Б, В и Г с подготовкой Култукского землетрясения, занявшей только 3 года и 2 месяца (табл. 1). В обоих случаях стадии А и Б получили развитие в первые 1.5 года, а стадии В вступили приблизительно через 2 года после начала стадий А (соответственно, в начале 2007 и 2015 гг.). В дальнейшем, стадия В

подготовки будущего сильного землетрясения оказалась на полгода продолжительнее стадии В Култукского землетрясения. Подобным образом растянулся по времени и интервал Г будущего сильного землетрясения. Предполагалось, что оно может случиться ориентировочно в конце 2020 – начале 2021 г. После перерыва в землетрясениях Южного Байкала, длившегося 2.5 года, 06 июля 2020

г. в Муринской эпицентральной линии произошло землетрясение повышенного энергетического класса ( $K=12.3$ ), а затем, 22 сентября, реализовалось сильное Быстринское землетрясение. Таким образом, подтвердилась стадийность подготовки Култукской и Байкало-Хубсугульской активизаций, которая вывела на прогноз сильных сейсмических событий, начавшихся 22 сентября 2020 г.



**Рис. 19.** Сопоставление пространственно-временного распределения эпицентров землетрясений, связанных с подготовкой сильного Култукского землетрясения 27 августа 2008 г. (а), будущего Быстринского землетрясения 22 сентября 2020 г., относительно апреля 2020 г. (б) (Rasskazov et al., 2020) и вероятного будущего землетрясения, относительно марта 2026 г. (настоящая работа).

**Fig. 19.** Comparison of spatial-temporal distribution of earthquake epicenters related to preparation of the large Kultuk earthquake of August 27, 2008 (а), the future Bystroe one of September 22, 2020, relative to April 2020 (Rasskazov et al., 2020), and probable future earthquake, relative to March 2026 (this work).

**Сопоставление стадий подготовки Култукского и будущего Быстринского землетрясения 22 сентября 2020 г., относительно апреля 2020 г. (Rasskazov et al., 2020)**

Table 1

**Comparison of the preparation stages of the Kultuk and future Bystraya earthquakes of September 22, 2020, relative to April 2020 (Rasskazov et al., 2020)**

Стадия подготовки	Характеристика и временной интервал стадии	
	Култукское землетрясение 27.08.2008	Будущее землетрясение 2020–2021 гг. (реализовалось 22 сентября 2020 г.)
А	Активизация западного фрагмента Обручевского разлома 25.02.2005–21.09.2005	Котовская активизация 08.01.2013–21.07.2013
Б	Развитие сейсмического процесса в Хамардабанской сухопутной ветви 11.01.2006–06.03.2006	Муринская активизация в пределах акватории озера 11.08.2013–20.07.2014
В	Песчано-Снежинская эпицентральная полоса 12.02.2007–06.12.2007	Активность Голоуспенского и Котовского эпицентральных кластеров 13.01.2015–29.08.2016
Г	Миграция эпицентров от Снежинского кластера к пос. Култук и назад с вращением по часовой стрелке 02.01.2008–31.01.2008, отдельное землетрясение рядом с пос. Култук 04.05.2008	Активность Муринской части Голоуспенско-Муринской эпицентральной линии 14.12.2016–10.11.2017, вероятные дополнительные события в 2020–2021 гг.

В прогнозе сильного землетрясения 2020 г., который оправдался, был сделан акцент на линейность распределения землетрясений в Южно-Байкальской впадине (Rasskazov et al., 2020). Вначале 2026 г. линейное распределение землетрясений с 01 февраля до 13 марта в акватории озера на всю протяженность Южно-Байкальской впадины, от п-ова Святой Нос до Танхой, дополняется линиями землетрясений на востоке и западе БРС. Ориентировка линий вдоль простирания БРС слегка меняется. По перпендикулярам к этим линиям определяется общий полюс вращения (полюс Эйлера) с приблизительными координатами  $60^{\circ}51'$  с.ш.,  $96^{\circ}58'$  в.д. (район пос. Куюмба) (рис. 19в). Этот полюс обозначает точку на сферической земной поверхности Google Earth, через которую проходят радиусы вращения в БРС, реализующегося в касательных линиях землетрясений. Длина радиусов составляет на западе и востоке БРС около 1060 км, в центре – увеличивается до 1150 км. Длина радиусов вращения сопоставима с протяженностью эпицентральных линий вращения в БРС.

Синхронность линий вращения в БРС свидетельствует об упорядоченной сейсмогенерирующей деформации коры вдоль рифтовой структуры на расстояние около 1200 км. В едином временном интервале реализуется

условие подготовки сильного землетрясения в протяженной структуре (Соболев, 1993).

В развитии сейсмичности 2025–2026 гг. стадийность, свойственная подготовке сильных землетрясений Култукской и Байкало-Хубсугульской активизаций, не соблюдается. С конца 2026 г. обозначается новый сценарий. Сильнейшие магнитные бури приводят к релаксации тектонических напряжений в БРС с последующим запуском деформационных процессов в коре при затягивании материала востока и центра этой структуры к оси ЯБГК. Это силовое воздействие провоцирует вращение в БРС, при котором растяжение вкост простирания этой структуры не реализуется, но вовлекается в движения осевая часть почти всей рифтовой системы. Вращается блок ЯБГК относительно Стабильной Азии. Вращение ограничивается к востоку сейсмоактивным углом, производным осевого затягивания материала ЯБГК.

Проводя аналогию со сценариями линейного распределения землетрясений перед началом сильных сейсмических активизаций в 2008 и 2020 гг., можно прогнозировать дальнейший ход событий 2026–2027 гг.: 1) продолжительное асейсмичное состояние линий (в 2017–2020 гг. такое состояние длилось 2.5 года); 2) проявление землетрясения повышенного энергетического класса ( $K=12.3-$

12.4) в Танхойской линии центра БРС (возможно, в других линиях); 3) через 1–2 месяца после такого землетрясения можно ожидать начала сильной сейсмической активизации.

### **Заключение**

В статье подчеркивается роль сейсмогенных деформаций, реализующихся на западе или востоке БРС при главенстве тектонических усилий СМСИАК или ЯБГК. Землетрясения центра БРС рассматриваются как вторичные, проявляющиеся либо вместе с землетрясениями запада, либо вместе с землетрясениями востока. К настоящему времени выстраивается последовательность влияния тектонических усилий: Байкало-Хубсугульская активизация 2020–2023 гг. – СМСИАК, Северо-Байкало-Хангайская активизация 2023–2024 гг. – ЯБГК, сейсмические импульсы 2025 г. – чередование СМСИАК и ЯБГК.

ОВП-регистрации сейсмогенных деформаций коры могут мешать возникающие с течением времени электрические эффекты магнитных бурь и пьезоэлектрические эффекты деформаций ледового покрова оз. Байкал. В отличие от ледостава января-марта предшествующих лет, в ледостав января-марта 2026 г. пьезоэлектрические ОВП-эффекты деформаций льда не проявились. В записях ОВП заметную роль сыграли магнитные бури. Из анализа соотношения вариаций ОВП подземных вод Култукского полигона и землетрясений БРС при переходе от контроля слабых землетрясений магнитными бурями в ноябре-декабре 2025 г. к сейсмическим импульсам ЯБГК в январе-марте 2026 г. следует вывод о вероятном нивелировании существовавших аномалий тектонических напряжений в БРС магнитными бурями, вызывавшими слабые землетрясения. Если это так, то короткие сейсмические импульсы января-марта 2026 г., в сущности, обозначают запуск новой серии сейсмогенных деформаций, в которых доминируют процессы ЯБГК.

С учетом приведенных построений нельзя не обратить внимания на то, что после январского углового распределения землетрясений в центре БРС в феврале-марте 2026 г. образуется Танхойская линия землетрясений, которая протягивается вдоль Байкала подобно линиям землетрясений, предшествовавших

сильным сейсмическим активизациям, Култукской и Байкало-Хубсугульской. Голоустно-Муринская линия отражала анизотропное состояние коры перед сильной Байкало-Хубсугульской сейсмической активизацией 2020–2023 гг. Линейность землетрясений в феврале-марте 2026 г. может отражать анизотропное состояние коры перед новой сильной сейсмической активизацией.

Мы приходим к выводу о том, что расшировка сейсмичности БРС не вписывается в ход какого-либо одного деформационного процесса ее образования в интерпретациях разных авторов (Зоненшайн и др., 1978; Зорин, Корделл, 1991; Logatchev, Zorin, 1992; Rasskazov, 1994; и др.). Деформационные процессы сменяются во времени. Такой характер развития рифтовых структур отражается в сегментном строении БРС (Рассказов, 1996). Сейсмогенное состояние коры меняется в зависимости от движений, вызванных усилиями СМСИАК или ЯБГК. Приложение сил с юга или с востока влечет за собой упорядоченные деформации, направленные вдоль оси БРС и реализующиеся в сильных сейсмических событиях, прогноз которых требует понимания стадийности развития сейсмического процесса от зарождения силового воздействия на БРС к результирующим деформациям коры. Движения не подчиняются линейным структурам (разломам), а регулируются соотношениями между блоками, обладающими некоторой жесткостью относительно подвижной коры БРС.

В настоящее время фактор вращения обеспечивает одновременное открытие с компенсированным погружением фундамента впадин озер Южного Байкала и Хубсугула. Вращательное движение фокусируется на эпицентрах Кударинского и Хубсугульского землетрясений центра и запада БРС. Восточный сейсмоактивный отрезок вращения БРС не имеет привязки к сильным землетрясениям Байкало-Хубсугульской или Северо-Байкало-Хангайской активизаций. С деформациями в этом отрезке может быть связано будущее сильное землетрясение. Сейсмическая активность востока БРС должна возрастать, поскольку силы ЯБГК воздействуют на БРС с востока. Точный прогноз времени сильного землетрясения будет зависеть от качества гидрогеохимического и

электрохимического прослеживания эффектов, сопровождающих его подготовку.

### Благодарности

Работа проводится в рамках гранта № 075-15-2024-533 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект «Фундаментальные исследования Байкальской природной территории на основе системы взаимосвязанных базовых методов, моделей, нейронных сетей и цифровой платформы экологического мониторинга окружающей среды»). В работе использованы данные о землетрясениях, полученные на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckprf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>). (Карта..., 2025). Авторы благодарят В.И. Архипенко за обеспечение технической поддержки рабочего состояния сенсоров на станциях Култукского полигона.

### Литература

- Асламов И.А., Рассказов С.В., Снопков С.В., Архипенко В.И., Ильясова А.М., Чебыкин Е.П. Генерация ОВП-импульсов в подземных водах побережья Байкала в феврале-марте 2024 г.: 30-суточный мониторинг в режиме реального времени от зарождения до угасания // Геология и окружающая среда. 2024. Т. 4, № 1. С. 77–89. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.1.77>
- Гульельми А.В., Клайн Б.И., Куражковская Н.А. Землетрясения и геомагнитные возмущения // Солнечно-земная физика. 2020 Т. 6, № 4. С. 93–98. doi: 10.12737/szf-64202012
- Зорин Ю.А., Корделл Л. Растяжение земной коры в Байкальской рифтовой зоне по гравиметрическим данным // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1991. № 5. С. 3–11.
- Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А., Мишарина Л.А., Солоненко Н. Тектоника плит Байкальской горной области и Станового хребта. Доклады АН СССР. 1978. Т. 240, № 3. С. 669–672.
- Карта эпицентров землетрясений. Иркутск: Байкальский филиал Федерального исследовательского центра Единая геофизическая служба РАН, 2025. <http://www.seis-bykl.ru>
- Рассказов С.В. Вулканизм и структура северо-восточного фланга Байкальской рифтовой системы // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 4. С. 60–70.
- Рассказов С.В., Чувашова И.С. Первоначальное обоснование и последующее восприятие гипотез о строении и развитии Байкальской системы впадин // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 3. С. 105–148. DOI 10.26516/2541-9641.2023.3.105.
- Рассказов С.В., Чувашова И.С. Импульсная скользящая трансенсия литосферы от Витимо-Удоканской горячей угловой зоны Японско-Байкальского геодинамического коридора к впадинам оз. Байкал // Геология и окружающая среда. 2024. Т. 4, № 2. С. 105–121. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.2.105>
- Рассказов С.В., Примина С.П., Чувашова И.С. История и методология геологических наук в Иркутском Государственном университете: развитие гипотез о кайнозойском рифтогенезе, вулканизме и землетрясениях в Байкало-Монгольском регионе // Геология и окружающая среда. 2022. Т. 2, № 2. С. 139–157. DOI 10.26516/2541-9641.2022.2.139
- Рассказов С.В., Асламов И.А., Снопков С.В., Архипенко В.И., Ильясова А.М., Чебыкин Е.П. Первый опыт мониторинга косейсмических и асейсмических вариаций ОВП, pH и температуры подземных вод Култукского резервуара в режиме реального времени (Байкальская рифтовая система) // Геология и окружающая среда. 2023а. Т. 3, № 4. С. 161–181. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2023.4.161>
- Рассказов С.В., Ильясова А.М., Борняков С.А., Чебыкин Е.П. Горячинская активизация Ямбуиской зоны трансенсии в 2013–2015 гг.: Косейсмическая химическая гидрогеодинамика подземных вод на ЮВ побережье Среднего Байкала // Геология и окружающая среда. 2023б. Т. 3, № 4. С. 108–145. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2023.4.108>
- Рассказов С.В., Асламов И.А., Снопков С.В., Архипенко В.И., Ильясова А.М., Чебыкин Е.П. Мониторинг окислительно-восстановительного потенциала подземных вод в режиме реального времени на Култукском полигоне в конце 2023 – начале 2024 гг.: сопоставление электрических эффектов с землетрясениями в центральной части Байкальской рифтовой системы // Геология и окружающая среда. 2024. Т. 4, № 1. С. 42–60. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.1.42>
- Рассказов С.В., Асламов И.А., Снопков С.В., Архипенко В.И., Ильясова А.М., Чебыкин Е.П. Мониторинг подземных вод берега Байкала в режиме реального времени: основной контролирующей фактор возмущений ОВП магнитными бурями в начале 2025 г. // Геология и окружающая среда. 2025а. Т. 5, № 1. С. 114–128. DOI 10.26516/2541-9641.2025.1.114.
- Рассказов С.В., Снопков С.В., Асламов И.А., Архипенко В.И., Ильясова А.М., Чебыкин Е.П. Оперативный анализ квазипериодических вариаций ОВП подземных вод и землетрясений

Байкальской рифтовой системы в середине 2025 г. // Геология и окружающая среда. 2025б. Т. 5, № 2. С. 46–68. DOI 10.26516/2541-9641.2025.2.46.

Рассказов С.В., Чебыкин Е.П., Снопков С.В., Асламов И.А., Архипенко В.И., Ильясова А.М. Оперативный анализ растяжения и сжатия земной коры в Байкальской рифтовой системе по вариациям ОВП подземных вод в режиме реального времени: оценка соотношений силовых и сейсмических импульсов // Геология и окружающая среда. 2025в. Т. 5, № 3. С. 126–170. DOI 10.26516/2541-9641.2025.3.126.

Рассказов С.В., Асламов И.А., Снопков С.В., Архипенко В.И., Ильясова А.М., Чебыкин Е.П., Чувашова И.С. Передовые ОВП записи подземных вод Байкальской рифтовой системы в конце 2025 г.: магнитосферный контроль слабых землетрясений // Геология и окружающая среда. 2025г. Т. 5, № 4. С. 99–132. DOI 10.26516/2541-9641.2025.4.99.

Рассказов С.В., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А., Виногина К.А., Будаев Б.Б., Цыренов О.Ж., Замбалов А.П., Кононов В.Ю., Антипин Р.В. Изменения позднекайнозойской вулканической активности и вариации состава вулканических пород вкосте простираания центральной части Тункинской долины Байкальской рифтовой системы // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 1. С. 91–114.

Снопков С.В., Рассказов С.В., Асламов И.А., Архипенко В.И., Ильясова А.М. Чебыкин Е.П. Экспресс-анализ проявления квазипериодических импульсов окислительно-восстановительного потенциала подземных вод берега Байкала при мониторинге в режиме реального времени (07–14 февраля 2024 г.) // Геология и окружающая среда. 2024. Т. 4, № 1. С. 61–76. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.1.61>

Marchitelli V., Troise C., Harabaglia P., Valenzano B., De Natale G. On the long range clustering of global seismicity and its correlation with Solar activity: A new perspective for earthquake forecasting // *Front. Earth Sci.* 2020. Vol. 8. 595209. doi: 10.3389/feart.2020.595209

Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М. Наука. 1993. 344 с.

Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Харин Е.П. О связи сейсмичности с магнитными бурями // *Физика Земли.* 2001. № 11. С. 62–72.

Чебыкин Е.П., Рассказов С.В., Асламов И.А., Снопков С.В., Архипенко В.И., Ильясова А.М. Серия ОВП-импульсов подземных вод побережья Байкала 20–27 марта 2024 г.: вероятная связь с магнитными бурями // Геология и окружающая среда. 2024. Т. 4, № 1. С. 90–97. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.1.90>

Buchachenko A.L. Earthquake under control: Is it feasible? // *Open Journal of Earthquake Research.* 2023. Vol. 12. P. 159–176. <https://doi.org/10.4236/ojer.2023.124006>

Logatchev N.A., Zorin Y.A. Baikal rift zone: structure and geodynamics // *Tectonophysics.* 1992. Vol. 208. P. 273–286.

Rasskazov S.V. Magmatism related to the East Siberia rift system and the geodynamics // *Bull. Centres Rech. Explor.–Prod. Elf. Aquitaine.* 1994. Vol. 18, No 2. P. 437–452.

Rasskazov S., Ilyasova A., Bornyakov S., Chuvashova I., Chebykin E. Responses of a  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  activity ratio in groundwater to earthquakes in the South Baikal Basin, Siberia // *Front. Earth Sci.* 2020. Vol. 14, No. 4. P. 711–737; doi.org/10.1007/s11707-020-0821-5

## References

Aslamov I.A., Rasskazov S.V., Snopkov S.V., Arkhipenko V.I., Ilyasova A.M., Chebykin E.P. Generation of ORP pulses in groundwater along the coast of Lake Baikal in February–March 2024: 30-day real-time monitoring from inception to extinction // *Geology and Environment.* 2024. Vol. 4, No. 1. P. 77–89. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.1.77>

Buchachenko A.L. Earthquake under control: Is it feasible? // *Open Journal of Earthquake Research.* 2023. Vol. 12. P. 159–176. <https://doi.org/10.4236/ojer.2023.124006>

Chebykin E.P., Rasskazov S.V., Aslamov I.A., Snopkov S.V., Arkhipenko V.I., Ilyasova A.M. Series of ORP pulses of groundwater along the coast of Lake Baikal on March 20–27, 2024: probable connection with magnetic storms // *Geology and Environment.* 2024. Vol. 4, No. 1. P. 90–97. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.1.90>

Guglielmi A.V., Klein B.I., Kurazhkovskaya N.A. Earthquakes and geomagnetic disturbances // *Solar-Terrestrial Physics.* 2020. Vol. 6, No. 4. P. 93–98. doi: 10.12737/szf-64202012

Map of earthquake epicenters. Irkutsk: Baikal Branch of the Federal Research Center Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, 2025. <http://www.seis-bykl.ru>

Marchitelli V., Troise C., Harabaglia P., Valenzano B., De Natale G. On the long range clustering of global seismicity and its correlation with Solar activity: A new perspective for earthquake forecasting // *Front. Earth Sci.* 2020. Vol. 8. 595209. doi: 10.3389/feart.2020.595209

Rasskazov S.V. Magmatism related to the East Siberia rift system and the geodynamics // *Bull. Centres Rech. Explor.–Prod. Elf. Aquitaine.* 1994. Vol. 18, No 2. P. 437–452.

Rasskazov S.V. Volcanism and structure of the northeastern flank of the Baikal rift system // *Geology and Geophysics.* 1996. Vol. 37. No. 4. P. 60–70.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Initial substantiation and subsequent perception of hypotheses on structure and development of the Baikal system of basins // *Geology and Environment.* 2023. Vol. 3,

No. 3. P. 105–148. Doi: 10.26516/2541-9641.2023.3.105.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Pulsary sliding transtension of the lithosphere from the Vitim-Udokan hot angular zone of the Japan-Baikal Geodynamic Corridor to basins of Lake Baikal // *Geology and Environment*. 2024. Vol. 4, No. 2. P. 105–121. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.2.105>

Rasskazov S.V., Aslamov I.A., Snopkov S.V., Arkhipenko V.I., Ilyasova A.M., Chebykin E.P. First experience in real-time monitoring of coseismic and aseismic ORP, pH, and temperature variations in groundwater from the Kultuk reservoir (Baikal Rift System) // *Geology and Environment*. 2023. Vol. 3, No. 4. P. 161–181. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2023.4.161>

Rasskazov S.V., Ilyasova A.M., Bornyakov S.A., Chebykin E.P. Goryachinsk reactivation of the Yambui transtension zone in 2013–2015: Coseismic chemical hydrogeodynamics of groundwater on the southeastern coast of Middle Baikal // *Geology and Environment*. 2023b. Vol. 3, No. 4. P. 108–145. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2023.4.108>

Rasskazov S.V., Aslamov I.A., Snopkov S.V., Arkhipenko V.I., Ilyasova A.M., Chebykin E.P. Real-time monitoring of oxidation-reduction potential in groundwater from the Kultuk area in late 2023 – early 2024: comparison of electric effects with earthquakes in the central Baikal Rift System // *Geology and Environment*. 2024. Vol. 4, No. 1. P. 42–60. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.1.42>

Rasskazov S.V., Aslamov I.A., Snopkov S.V., Arkhipenko V.I., Ilyasova A.M., Chebykin E.P. Real-time monitoring of redox potential in groundwater from the Baikal coast: The main controlling factor of ORP disturbances by geomagnetic storms in early 2025 // *Geology and Environment*. 2025a. Vol. 5, No. 1. P. 114–128 DOI 10.26516/2541-9641.2025.1.114.

Rasskazov S.V., Chebykin E.P., Snopkov S.V., Aslamov I.A., Arkhipenko V.I., Ilyasova A.M. Operational analysis of crustal extension and compression in the Baikal Rift System from real-time variations in groundwater oxidation-reduction potential: assessment of the relationship between force and seismic pulses // *Geology and Environment*. 2025b. Vol. 5, No. 3. P. 126–170. DOI 10.26516/2541-9641.2025.3.126.

Rasskazov S., Ilyasova A., Bornyakov S., Chuvashova I., Chebykin E. Responses of a  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  activity ratio in groundwater to earthquakes in the South Baikal Basin, Siberia // *Front. Earth Sci*. 2020. Vol. 14, No. 4. P. 711–737; [doi.org/10.1007/s11707-020-0821-5](https://doi.org/10.1007/s11707-020-0821-5)

Rasskazov S.V., Snopkov S.V., Aslamov I.A., Arkhipenko V.I., Ilyasova A.M., Chebykin E.P. Operational analysis of weekly quasi-periodical variations in groundwater redox potential and earthquakes of the Baikal Rift System in mid-2025 // *Geology and Environment*. 2025c. Vol. 5, No. 2. P. 46–68. DOI 10.26516/2541-9641.2025.2.46.

Rasskazov S.V., Snopkov S.V., Aslamov I.A., Arkhipenko V.I., Ilyasova A.M., Chebykin E.P., Chuvashova I.S. Frontier ORP records of groundwater from the Baikal Rift System in the fall of 2025: magnetospheric control of weak earthquakes // *Geology and Environment*. 2025r. Vol. 5, No. 4. P. 99–132. DOI 10.26516/2541-9641.2025.4.99.

Snopkov S.V., Rasskazov S.V., Aslamov I.A., Arkhipenko V.I., Ilyasova A.M., Chebykin E.P. Express analysis of the manifestation of quasi-periodic pulses of the oxidation-reduction potential of groundwater on the shore of Lake Baikal during real-time monitoring (February 7–14, 2024) // *Geology and Environment*. 2024. Vol. 4, No. 1. Pp. 61–76. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2024.1.61>

Sobolev G.A. Fundamentals of earthquake forecasting. Moscow: Nauka. 1993. 344 p.

Sobolev G.A., Zakrzhevskaya N.A., Kharin E.P. On the relationship between seismicity and magnetic storms // *Physics of the Earth*. 2001. No. 11. P. 62–72.

Zonenshain L.P., Savostin L.A., Misharina L.A., Solonenko N. Plate tectonics of the Baikal mountain region and the Stanovoy Range. Reports of the USSR Academy of Sciences. 1978. Vol. 240, No. 3. P. 669–672.

Zorin Yu.A., Cordell L. Extension of the earth's crust in the Baikal rift zone according to gravimetric data // *Izvestiya Academy of Sciences of the USSR. Ser. Physics of the Earth*. 1991. No. 5. P. 3–11.

#### **Рассказов Сергей Васильевич**

*доктор геолого-минералогических наук, профессор, 664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3, Иркутский государственный университет, геологический факультет, заведующий кафедрой динамической геологии, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128, Институт земной коры СО РАН, заведующий лабораторией изотопии и геохронологии, тел.: (3952) 51–16–59, email: rassk@crust.irk.ru*

#### **Rasskazov Sergei Vasilevich,**

*doctor of geological and mineralogical sciences, professor, 664025, Irkutsk, Lenin st., 3, Irkutsk State University, Faculty of Geology, Head of Dynamic Geology Char, 664033, Irkutsk, Lermontov st., 128, Institute of the Earth's Crust SB RAS, Head of the Laboratory for Isotopic and Geochronological Studies, tel.: (3952) 51–16–59, email: rassk@crust.irk.ru*

#### **Асламов Илья Александрович,**

*кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3,*

Лимнологический институт СО РАН,  
email: [ilya\\_aslamov@bk.ru](mailto:ilya_aslamov@bk.ru)

**Aslamov Ilya Aleksandrovich,**  
Candidate of physical and mathematical sciences,  
Senior Researcher,  
664033, Irkutsk, Ulan-Batorskaya st., 3,  
Limnological Institute SB RAS,  
email: [ilya\\_aslamov@bk.ru](mailto:ilya_aslamov@bk.ru)

**Снопков Сергей Викторович,**  
кандидат геолого-минералогических наук,  
664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,  
Иркутский государственный университет, геологический факультет,  
доцент,  
664074, г. Иркутск, ул. Курчатова, 3,  
Сибирская школа геонаук, Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
ведущий научный сотрудник,  
email: [snopkov\\_serg@mail.ru](mailto:snopkov_serg@mail.ru)

**Snopkov Sergei Viktorovich,**  
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,  
664025, Irkutsk, Lenin st., 3,  
Irkutsk State University, Faculty of Geology,  
Associate Professor,  
664074, Irkutsk, Kurchatov st., 3,  
Siberian School of Geosciences, Irkutsk National Research Technical University,  
Leading Researcher,  
email: [snopkov\\_serg@mail.ru](mailto:snopkov_serg@mail.ru)

**Ильясова Айгуль Маратовна**  
кандидат геолого-минералогических наук,  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,  
Институт земной коры СО РАН,

ведущий инженер,  
email: [ila@crust.irk.ru](mailto:ila@crust.irk.ru)

**Ilyasova Aigul Maratovna,**  
candidate of geological and mineralogical sciences,  
664033, Irkutsk, Lermontov st., 128,  
Institute of the Earth's Crust SB RAS,  
leading engineer,  
email: [ila@crust.irk.ru](mailto:ila@crust.irk.ru)

**Чебыкин Евгений Павлович,**  
кандидат химических наук,  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,  
Институт земной коры СО РАН,  
ведущий специалист,  
email: [epcheb@yandex.ru](mailto:epcheb@yandex.ru)

**Chebykin Eugene Pavlovich,**  
Candidate of Chemical Sciences,  
664033, Irkutsk, Lermontov st., 128,  
Institute of the Earth's Crust SB RAS,  
leading specialist,  
email: [epcheb@yandex.ru](mailto:epcheb@yandex.ru)

**Чувашова Ирина Сергеевна,**  
кандидат геолого-минералогических наук,  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,  
Институт земной коры СО РАН,  
старший научный сотрудник,  
тел.: (3952) 51–16–59,  
email: [chuvashova@crust.irk.ru](mailto:chuvashova@crust.irk.ru)

**Chuvashova Irina Sergeevna,**  
candidate of geological and mineralogical sciences,  
664033, Irkutsk, st. Lermontov, 128,  
Institute of the Earth's Crust SB RAS,  
Senior Researcher,  
tel.: (3952) 51–16–59,  
email: [chuvashova@crust.irk.ru](mailto:chuvashova@crust.irk.ru)

# ВУЛКАНИЗМ, НОВЕЙШАЯ ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.243.8 (51)

<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2026.1.91>

EDN: GVERGH

## Изменения позднекайнозойской вулканической активности и вариации состава вулканических пород вкрест простирания центральной части Тункинской долины Байкальской рифтовой системы

С.В. Рассказов<sup>1,2</sup>, И.С. Чувашова<sup>1,2</sup>, Т.А. Ясныгина<sup>1</sup>, К.А. Виницина<sup>2</sup>, Б.Б. Будаев<sup>2,3</sup>,  
О.Ж. Цыренов<sup>2</sup>, А.П. Замбалов<sup>2</sup>, В.Ю. Кононов<sup>2</sup>, Р.В. Антипин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

<sup>3</sup>Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

**Аннотация.** Вулканизм центральной части Тункинской долины, в Тункинской впадине и на Еловской междувпадинной перемычке, развивался в среднем миоцене (16–13 млн лет назад), в позднем миоцене (11–8 млн лет назад) и в плиоцене-плейстоцене (4.0–0.8 млн лет назад). В южной стержневой части Тункинской долины (территория Иркут-Ахалик) магматические расплавы, излившиеся в среднемиоценовый и плиоцен-плейстоценовый вулканические интервалы, меняли составы с течением времени от базальтов к трахибазальтам с перерывом в вулканизме 13–4 млн лет назад. В ее северной стержневой части (территория Хобок) базальты сменялись трахибазальтами в среднем миоцене (16–13 млн лет назад), а в позднем миоцене (9–8 млн лет назад) и в плиоцене-плейстоцене, извергались только трахибазальты. В ближайшем южном горном обрамлении (хр. Хамар-Дабан) и северном горном обрамлении (хр. Тункинский) вулканизм был ограничен средне-позднемиоценовым временным интервалом. Лавовые извержения в Тункинской долине 16–15 млн лет назад, характеризующиеся однородным базальтовым составом, обозначают начальный магматизм, совпадающий по времени с запускающим импульсом глубинного мантийного магматизма в осевой части Японско-Байкальского геодинамического коридора, который соответствовал задуговому раскрытию впадины Японского моря. Извержения преимущественно трахибазальтовых лав 13, 11–8 и 4–0.8 млн лет назад отражают развитие Центрально-Тункинской зоны горячей трансенсии в ходе угасания активности Камарско-Становой зоны на восточном окончании Тункинской долины.

**Ключевые слова:** Байкал, кайнозой, вулканизм, базальт, трахибазальт, континентальный рифтогенез

Статья получена: 24.02.2026; исправлена: 20.03.2026; принята: 27.03.2026.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Рассказов С.В., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А., Виницина К.А., Будаев Б.Б., Цыренов О.Ж., Замбалов А.П., Кононов В.Ю., Антипин Р.В. Изменения позднекайнозойской вулканической активности и вариации состава вулканических пород вкрест простирания центральной части Тункинской долины Байкальской рифтовой системы // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 1. С. 91–114. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.91. EDN: GVERGH

Article received: 24.02.2026; corrected: 20.03.2026; accepted: 27.03.2026.

FOR CITATION: Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Yasnygina T.A., Vinitina K.A., Budaev B.B., Tsyrenov O.Sh., Zambalov A.P., Kononov V.Yu., Antipin R.V. Changes in Late Cenozoic volcanic activities and rock composition variations across the Central Tunka valley of the Baikal rift system // Geology and Environment. 2026. Vol. 6, No. 1. P. 91–114. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.91. EDN: GVERGH

## Changes in Late Cenozoic Volcanic Activities and Rock Composition Variations across the Central Tunka Valley of the Baikal Rift System

S.V. Rasskazov<sup>1,2</sup>, I.S. Chuvashova<sup>1,2</sup>, T.A. Yasnygina<sup>1</sup>, K.A. Vinitcina<sup>2</sup>, B.B. Budaev<sup>2,3</sup>, O.Sh. Tsyrenov<sup>2</sup>, A.P. Zambalov<sup>2</sup>, V.Yu. Kononov<sup>2</sup>, R.V. Antipin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia*

<sup>2</sup>*Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

<sup>3</sup>*V.B. Sochava Institute of Geography, SB RAS, Irkutsk, Russia*

**Abstract.** Volcanism in the central Tunka Valley (in the Tunka Basin and Elovka interbasin uplift) occurred in the Middle Miocene (16–13 Myr ago), Late Miocene (11–8 Myr ago), and Pliocene–Pleistocene (4.0–0.8 Myr ago). In the southern core of the Tunka Valley (Irkut-Akhalik area), the composition of magmatic melts erupted during the Middle Miocene and Pliocene–Pleistocene volcanic intervals changed over time from basalts to trachybasalts, with a hiatus in volcanism from 13 to 4 Myr ago. In its northern core (Khabok area), basalts were followed with trachybasalts in the Middle Miocene (16–13 Myr ago), while in the Late Miocene (9–8 Myr ago) and the Pliocene–Pleistocene, only trachybasalts erupted. In the immediate southern mountainous framing (the Khamar-Daban Range) and northern mountainous framing (the Tunka Range), only Middle-Late Miocene volcanism occurred. Lava eruptions in the Tunka Valley 16–15 Myr ago, characterized by a homogeneous basaltic composition, mark the initial magmatism, coinciding in time with the triggering impulse of deep mantle magmatism at the axis of the Japan-Baikal geodynamic corridor that corresponded to the back-arc opening of the Sea of Japan Basin. Those of predominantly trachybasaltic composition 13, 11–8, and 4–0.8 Myr ago reflect the subsequent development of the Central Tunka zone of hot transtension under the fading activities in the Kamar-Stanovoy zone at the eastern end of the Tunka Valley.

**Keywords:** *Baikal, Cenozoic, volcanism, basalt, trachybasalt, continental rifting*

### Введение

Под осевыми впадинами континентальных рифтовых зон существуют особые условия магмообразования, отличающиеся от условий магмообразования под сопредельными поднятиями – плечами рифтов. Впервые на эту особенность обратил внимание П. Липман (Lipman, 1969), который определил толеитовый состав для плиоценовых базальтов во впадине Сан-Луис северной части рифта Рио-Гранде плато Таос и щелочной состав для «долинных» плиоцен-четвертичных лавовых потоков на западном плече этой впадины (в горах Тюзас). Он пришел к выводу о том, что толеитовые базальты были производными плавления нижней коры под осевой впадиной, тогда как щелочные базальты выплавлялись по ее латерали в более глубинных мантийных источниках. Такое же закономерное распределение имеют толеитовые и щелочные базальты во впадинах и их горном обрамлении в рифтовых системах Северо-Восточной Африки, хотя в осевых рифтовых структурах возможно также проявление магм

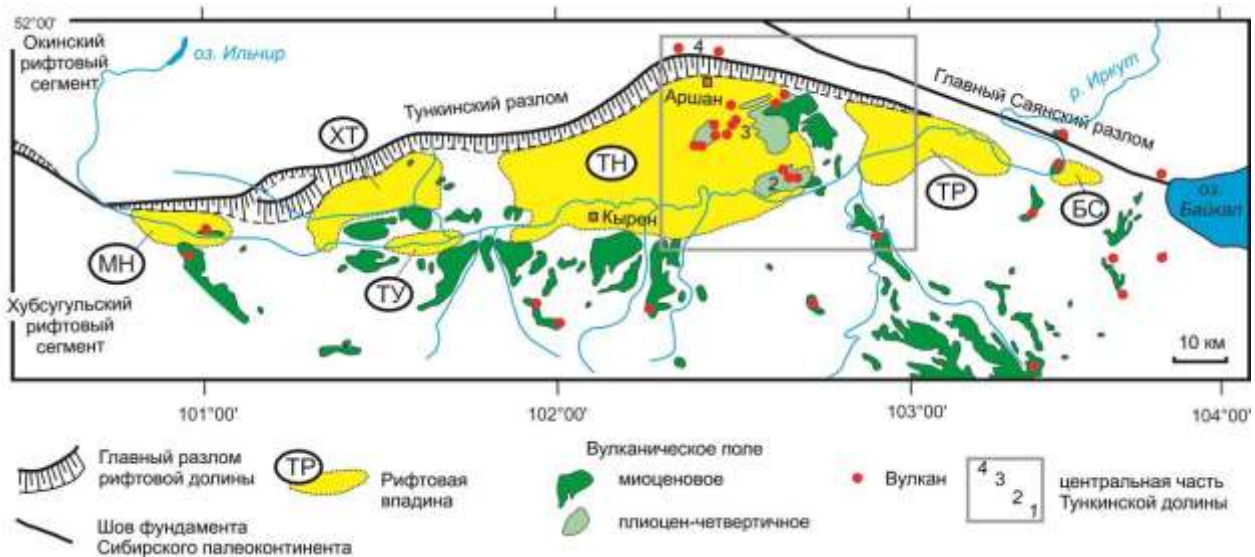
разного состава, производных из различных источников (Континентальные рифты, 1981).

Характер развития структуры Тункинской рифтовой долины Байкальской рифтовой системы (БРС) был предметом дискуссии, в которой существенная роль придавалась левосторонним сдвиговым смещениям вдоль нее (Шерман и др., 1973; Шерман, Леви, 1978; и др.). Использование вулканических реперов в восточной части долины показало, однако, отсутствие существенных амплитуд таких смещений (Рассказов и др., 2013; Рассказов, Чувашова, 2023). Данные об эволюции вулканизма и пространственно-временной смене источников послужили для аргументации существенной роли в развитии долины попеременных вулканоактивных структур (Rasskazov et al., 2021).

Латеральная смена источников коры и мантии была выявлена относительно восточного окончания Тункинской рифтовой долины в возрастном диапазоне 18–12 млн лет назад (Рассказов и др., 2013). В центральной части этой рифтовой долины находится

Тункинская впадина, имеющая размеры 32×65 км (рис. 1). Глубина впадины составляет до 2.5 км. К востоку и западу от Тункинской впадины размеры и глубины впадин Тункинской долины уменьшаются. Вулканическая деятельность, сконцентрированная в структурном сочленении Тункинской

впадины и Еловской междувпадинной перемычки, характеризует активность северного окончания Транс-Хамардабанской вулканической зоны, протянувшейся от Тункинской долины на 90 км к югу, в бассейн Джиды (Рассказов, 1990; Ashchepkov et al., 2026).



**Рис. 1.** Схема распределения миоценовых вулканических полей вдоль Тункинской долины с локализацией плиоцен-четвертичного поля в ее центральной части. Впадины: МН – Мондинская, ХТ – Хойтогольская, ТУ – Туранская, ТН – Тункинская, ТР – Торская, БС – Быстринская. На востоке Тункинская долина соединяется с озерной Южно-Байкальской впадиной (ЮБ). В центральной части долины цифрами обозначаются территории: 1 – Козья Шейка, 2 – Иркут-Ахалик, 3 – Хобок, 4 – Тункинский хребет.

**Fig. 1.** Distribution of Miocene volcanic fields along the Tunka Valley, with the Pliocene-Quaternary field localized in its central part. Basins: МН – Mondy, ХТ – Khoytogol, ТУ – Turan, ТН – Tunka, ТР – Tory, БС – Bystraya. In the east, the Tunka Valley connects with the South Baikal Basin (ЮБ). In the central part of the valley, the areas are designated by numbers: 1 – Kozya Sheika, 2 – Irkut-Akhalik, 3 – Khobok, 4 – Tunka Range.

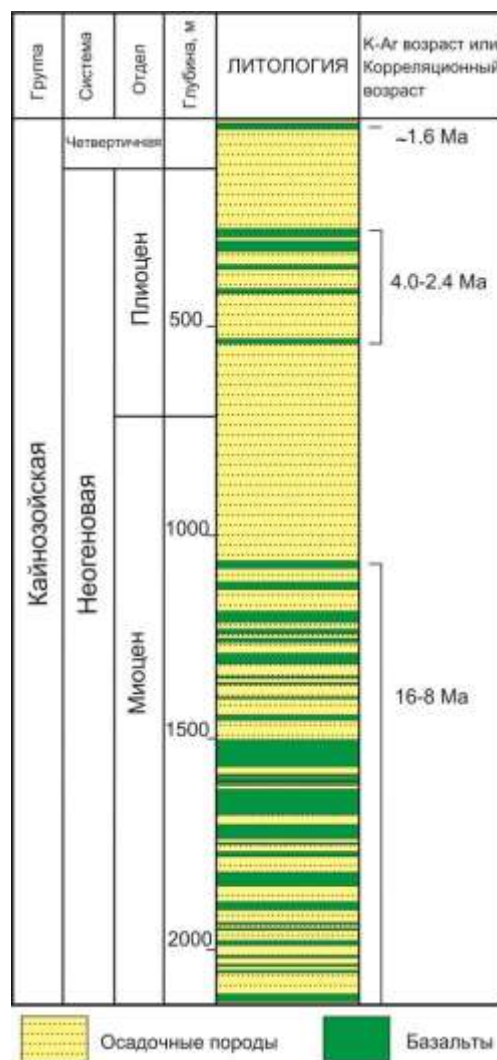
Разрезы вулканогенно-осадочных толщ этой территории были предметом исследований в многочисленных работах 1950–1990-х гг. (Флоренсов, Лоскутова, 1953; Логачев, 1956; Флоренсов, 1960; Белов, 1963; Шерман и др., 1973). Первые представительные данные о составе петрогенных оксидов и ограниченного спектра микроэлементов вулканических пород в стратиграфической последовательности с их К–Аг датировками, согласующимися с палеонтологическими определениями возраста осадочных пород, были представлены в монографии (Рассказов, 1993). В эволюции состава лав были обозначены два этапа: средне-позднемиоценовый и плиоцен-четвертичный. Было показано, что в интервале 16–9 млн лет назад

толеитовые базальты, не содержащие глубинных включений, сменились щелочными базальтами и базанитами с глубинными включениями. Затем, подобным образом базальты без глубинных включений сменились базальтами с глубинными включениями в плиоцен-четвертичное время. В конце 1990-х гг. были опубликованы 10 новых химических анализов вулканических пород Тункинской впадины, обозначенные миоценовым возрастом, и 2 химических анализа вулканических пород, обозначенные плиоценом-плейстоценом (Грачев, 1998). Местоположение образцов, однако, не указывалось, поэтому эти анализы не могут использоваться для суждения о пространственно-временных вариациях состава вулканических пород.

К настоящему времени данные по стратиграфии вулканогенно-осадочной толщи Тункинской долины частично уточнены. Коллекция образцов вулканических пород в стратиграфической последовательности дополнена. Сделаны новые определения петрогенных оксидов. Цель настоящей работы – охарактеризовать вулканические породы в последовательности вулканогенно-осадочного заполнения центральной части Тункинской долины (Тункинской впадины и Еловского отрога) и сопредельных территорий Хамар-Дабана и Тункинского хребта с выявлением хода вулканической активности вкострости Тункинской долины, а также сходства и различий состава одновозрастных вулканических пород.

**Общая характеристика вулканогенно-осадочного заполнения Тункинской впадины**

В начале 1950-х годов в северо-восточной части Тункинской впадины была пройдена глубокая скважина 2-О (устье – 730 м, глубина до 2117 м). Выход керна составлял 3–5 %. По результатам каротажа и извлеченным обломкам пород в скважине были обозначены три вулканических интервала: верхний единичный слой (глубина до 10 м), средняя совокупность слоев (глубина 250–536 м) и нижняя совокупность слоев (глубина 1030–2010 м) (рис. 2). Поскольку скважина находится рядом с вулканом Хурай-Хобок, для которого получена К–Аг датировка 1.6 млн лет, верхний лавовый слой относится к нижнему плейстоцену. Средняя совокупность слоев вулканических пород, по данным спорово-пыльцевого анализа, относится к плиоцену (граница плиоцена-миоцена находится на глубине 715.6 м), нижняя – к миоцену. Соответственно, обозначаются вулканические интервалы: 1.7–0.86 млн лет (нижний плейстоцен), 4.0–2.4 млн лет (плиоцен – начало плейстоцена) и 16–8 млн лет (средний-верхний миоцен).



**Рис. 2.** Распределение базальтов в вулканогенно-осадочном заполнении северо-восточной части Тункинской котловины (скважина 2-О). Скважина пройдена в 7 км южнее курорта Аршан (Повышев, 1956). Литологическая колонка – упрощенный вариант первичной документации скважины при выходе керна 3–5 процентов. Возрастные интервалы указаны исходя из результатов К–Аг датирования вулканических пород из обнажений (Рассказов, 1993).

**Fig. 2.** Distribution of basalts in the volcano-sedimentary filling of the northeastern part of the Tunka Basin (well 2-O). The well was drilled 7 km south of the Arshan spar (Povyshev, 1956). The lithological column is a simplified version of the primary recording of the well with 3–5 % of a core yield. Age intervals are indicated from the results of K–Ar dating of volcanic rocks from outcrops (Rasskazov, 1993).

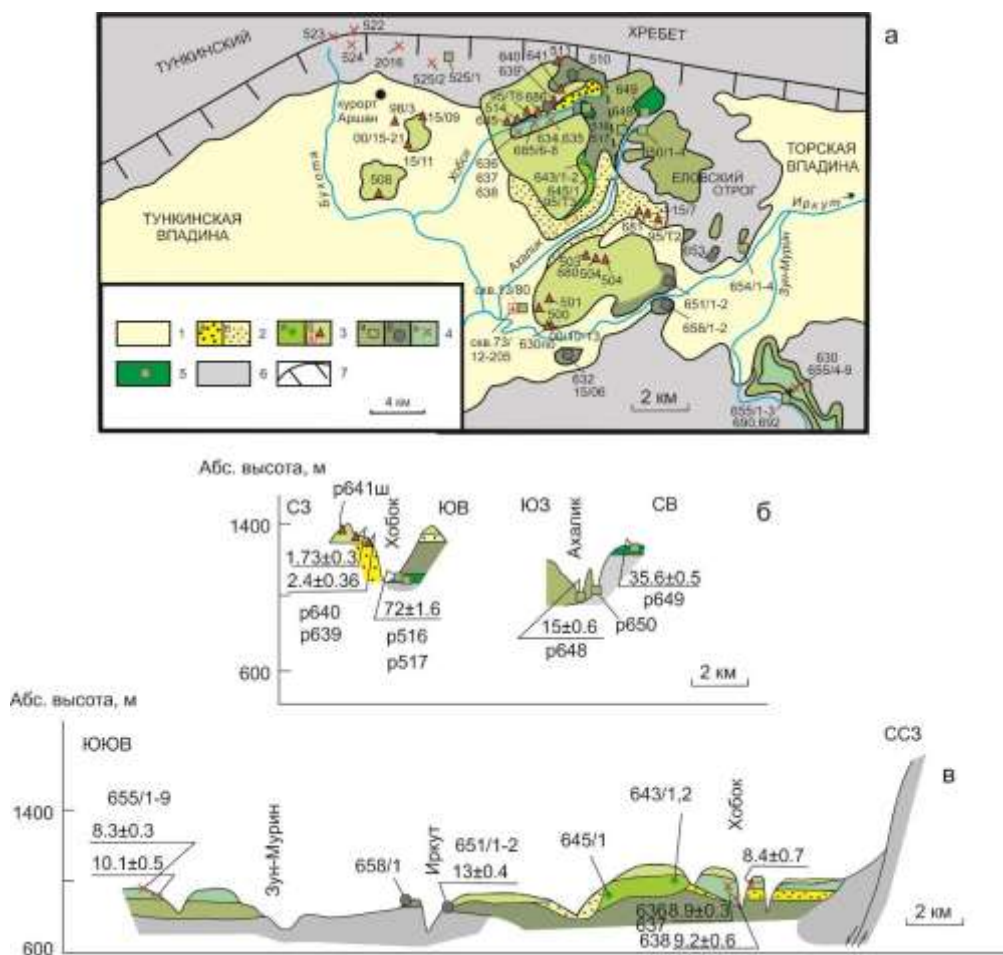
Миоценовые вулканические извержения соответствуют по времени накоплению

угленосной танхойской свиты, плиоценовые и раннеплейстоценовые – аносовской. В позднем плейстоцене и голоцене вулканизм не возобновлялся. В плиоцене Тункинский хребет быстро рос и расчленялся эрозией. Грубообломочный материал сносился с хребта в долину. Накопилась 200-метровая грубообломочная толща аносовской свиты без базальтовых прослоев. Раннеплейстоценовые вулканические извержения в Тункинской впадине отделены от плиоценовых извержений перерывом во временном интервале 2.4–1.7 млн лет назад. Раннеплейстоценовый вулканизм закончился около 0.9–0.8 млн лет назад в связи с общим изменением характера эволюции структуры центральной части БРС – Тункинской долины и впадин оз. Байкал.

### Опробование последовательностей вулканических пород

Среди выходов миоценовых вулканических пород по характеру строения разреза выделяются две субмеридиональные полосы шириной 4–5 км и протяженностью 18–20 км. Восточная полоса базальтов приходится на наиболее приподнятую часть Еловского отрога и полностью лишена прослоев осадочных отложений и пирокластического материала. Западная полоса базальтов расположена ближе к центральной части Тункинской впадины. В ее пределах, наряду с лавами, распространены осадочные отложения, встречаются прослои пирокластических отложений. С запада на восток область опускания и седиментации Тункинской впадины сменяется областью поднятия и эрозии Еловского отрога.

В центральной части Тункинской долины находятся вулканические породы: 1) мела-палеогена, 2) среднего-верхнего миоцена и 3) плиоцена – нижнего плейстоцена (рис. 3).



**Рис. 3.** Распределение разновозрастных вулканических пород в Тункинской впадине и на Еловском отроге. 1 – четвертичные отложения; 2 – кайнозойские осадочные отложения (а – миоценовые, б – плиоцен-четвертичные); 3 – плиоцен-четвертичные вулканические породы (возраст: а – 4 млн лет, б – 2.4–0.8 млн лет); 4 – средне-верхнемиоценовые вулканические породы (возраст: а

– 16–15 млн лет, б – 13 млн лет, в – 11–8 млн лет); 5 – вулканические породы неясного (мел-палеогенового или средне-миоценового) возраста; 6 – породы кристаллического фундамента; 7 – уступ Тункинских гольцов.

**Fig. 3.** Distribution of volcanic units in the Tunka Basin and on the Elovka Spur. 1 – Quaternary sediments; 2 – Pliocene-Quaternary sediments; 3 – Pliocene-Quaternary volcanic rocks; 4 – Middle-Upper Miocene volcanic rocks: lower (a), middle (b) and upper (v) strata; 5 – volcanic rocks of unclear (Cretaceous-Paleogene or Middle Miocene) age; 6 – crystalline basement rocks; 7 – scarp of the Tunka Range.

При рассмотрении стратиграфии вулканогенно-осадочной толщи центральной части Тункинской долины нужно, прежде всего, обратить внимание на находки мел-палеогеновых вулканических пород и на неопределенности в трактовке возраста толщи, вскрытой скв. 73 в селе Никольск.

1. На Еловской междувпадинной перемычке, в среднем течении р. Хобок, для вулканических пород получена верхнемеловая К–Аг датировка  $72 \pm 1.6$  млн лет. На выровненном водоразделе Еловской междувпадинной перемычки, в верховьях р. Ахалик, порода вулканического покрова дала датировку конца эоцена –  $35.6 \pm 0.5$  млн лет. Первая датировка может соответствовать возрасту терригенно-эффузивной толщи, выявленной по данным бурения на Ахаликском буругольном месторождении. Толща была отнесена к палеоцену в связи с развитием по базальтам латеритной коры выветривания (Логачев, 1974). Мел-палеогеновый базальт долеритового сложения этой толщи был опробован Т.К. Ломоносовой в глубинном интервале неизменных пород 219.4–221.4 м скв. 72 Ахаликского месторождения (обр. ЛО-72-1). Пограничные мел-палеогеновые слои широко распространены на сопредельных территориях, в Передбайкальском и Витимо-Селенгинском прогибах (Рассказов и др., 2007). Вторая датировка также может соответствовать геологическому возрасту. В южной части Тункинской впадины двумя жемчужными скважинами вскрыта осадочная толща, начинающаяся с олигоцена и не содержащая прослоев вулканических пород (Мазилев и др., 1993). Нельзя, однако, исключить возможность удревнения К–Аг датировок в связи с инфильтрационным развитием скрытой глинистой минерализации в проницаемых базальтовых слоях (Чувашова и др., 2021; Рассказов и др., 2025б). Базальты с датировками 72 и 36 млн лет условно рассматриваются в составе возрастной генерации 16–15 млн лет.

2. Образцы вулканических пород из керна скв. 73 предприятия «Сосновгеология» отбились К.Г. Леви и были переданы для

исследований их состава без документации осадочных отложений. Вулканические породы были отобраны с глубин 12, 14, 20, 140, 151, 154 и 205 м. Для образца с глубины 154 м получена К–Аг датировка 1.7 млн лет. Вскрытая толща относилась к плейстоцену (Рассказов, 1993). В нижней части разреза, вскрытого скв. 73 в интервале высот <500–730 м над уровнем моря, в осадочных породах определены средне-миоценовые спорово-пыльцевые спектры (Попова и др., 1989).

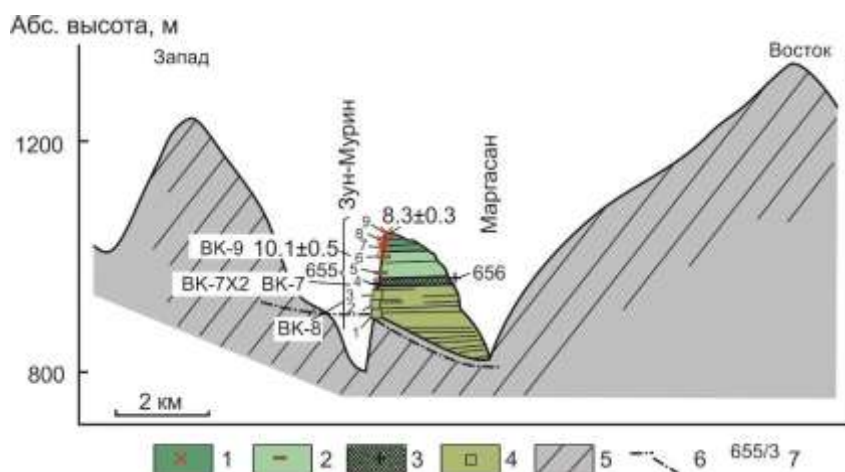
При заложении новой скважины для изучения разреза вулканогенно-осадочной толщи в селе Никольск в 2013 г. учитывались данные, полученные по керну скв. 73. Предполагалась проходка новой скважины в координатах, указанных в отчете по этой скважине, для детальной документации перемежающихся лавовых и осадочных слоев. Начало проходки новой скважины показало, однако, отсутствие прослоев лав. До глубины 30 м извлекался средне-крупнозернистый песок, насыщенный водой (плавуны). Координаты скв. 73 оказались неверными. Бурение было прекращено. Новая скважина была заложена на восточной окраине села Никольск, в курумнике базальтовых глыб. В ходе бурения ниже курумника была вскрыта осадочная толща верхнего миоцена–плейстоцена, залегающая на эродированной поверхности лавового слоя, подобного по составу породам генерации 16–15 млн лет (обр. Nik/84.7) (Хасан и др., 2020). Обломки вулканических пород, встреченные в скв. 73, в новой скважине Тунка-13 отсутствовали. Очевидно, что старой и новой скважинами были вскрыты разновозрастные толщи. Проанализированные образцы вулканических пород скв. 73 (Рассказов, 1993) представляют собой перемещенный обломочный материал, поступавший в четвертичное время с вулканических построек, подвергавшихся эрозии. Возраст обломков вулканических пород из скв. 73 требует уточнения. В настоящей работе проанализированные породы условно относятся к возрастной генерации 2–1 млн лет.

*Лавы возрастом 15.0–15.6 млн лет* заполняют древние речные долины глубиной не

менее 100 м в наиболее поднятой части Еловского отрога. Базальтовые лавы залегают непосредственно на породах фундамента. Видимая толщина “долинных” базальтовых накоплений 70 м. Современная долина Ахалика вскрыла вулканическую толщу в месте ее причленения к крутому (30–45°) борту древней долины. Возраст базальтов из основания “долинной” лавовой пачки  $15.0 \pm 0.6$  млн лет. Близкая датировка  $15.6 \pm 0.4$  млн лет получена для самого нижнего из четырех базальтовых слоев вулканического останца левого борта р. Иркут в 4 км ниже по течению от д. Еловка. Здесь базальтовые потоки также лежат непосредственно на породах фундамента. Их ложе поднято на 70 м выше современного тальвега Иркуты.

Лавы возрастом 15.0–15.6 млн лет Еловского отрога идентичны по составу нижней части разреза вулканической толщи долины р. Зун-Мурин и составляют вместе с ними единую возрастную генерацию. В правом борту Зун-Мурина подошва базальтов поднята над современным урезом реки на 90–100 м. С восточной стороны обнажения базальты опущены ниже тальвега Маргасана. Глубина погребенной под базальтами долины относительно «вершинной» поверхности превышает 500 м.

Видимая толщина базальтовой пачки основания разреза нижнего течения р. Зун-Мурин не превышает 50 м. На Козьей Шейке (живописной седловине, образованной сближенными меандрами рек Зун-Мурин и Маргасан) обнажен один 15-метровый поток толстостолбчатых базальтов нижней пачки. В 1 км ниже по течению р. Зун-Мурин пачка сложена чередованием многочисленных маломощных (до 1 м) потоков. Со стороны Маргасана насчитывается не менее девяти потоков с видимой суммарной толщиной 80–90 м. Породы изменены процессами выветривания. Выше базальтовой пачки вдоль зун-муринского обнажения прослеживается маломощная (первые метры) линза галечников, а вдоль маргасанского – линза однородных бурых аргиллитов толщиной не менее 30 м. Перекрывающие эти осадочные линзы вулканические породы разделяются на три пачки. Непосредственно на галечниках залегают потоки лав с глубинными включениями, которые содержатся также в гальке осадочной линзы. Над потоком с включениями следует пачка двух лавовых слоев, а затем – пачка еще четырех слоев. Общая толщина трех верхних пачек составляет 80–90 м. Лавы средней и верхней частей зунмуринской пачки показали возраст  $10.1 \pm 0.5$  и  $8.3 \pm 0.3$  млн лет (рис. 4).



**Рис. 4.** Лавовые пакеты средне-верхнемиоценовой вулканической толщи, залегающей в глубокой эрозионной палеодолине (разрез Козьей Шейки): 1 – 8.3 млн лет; 2 — 10.1 млн лет; 3 — 11 млн лет; 4 — 16–15 млн лет; 5 – породы фундамента; 6 — высотный уровень подошвы вулканической толщи; 7 — здесь и далее номера разрезов и образцов из них с К–Аг датировками.

**Fig. 4.** Lava packages of the Middle-Upper Miocene volcanic strata occurred in a deep erosional paleovalley (Kozya Sheyka section): 1 – 8.3 Myr; 2 – 10.1 Myr; 3 – 11 Myr; 4 – 16–15 Myr; 5 – basement rocks; 6 – elevation level of the volcanic sequence base; 7 – from here on numbers of sections and samples with K–Ar ages.

Лавы возрастом около 13 млн лет различаются в стержневой части Тункинской долины. Они не содержат глубинных

включений. Пачка лав залегают на 70–80-метровой цокольной террасе по обоим бортам долины Иркуты выше по течению от д.

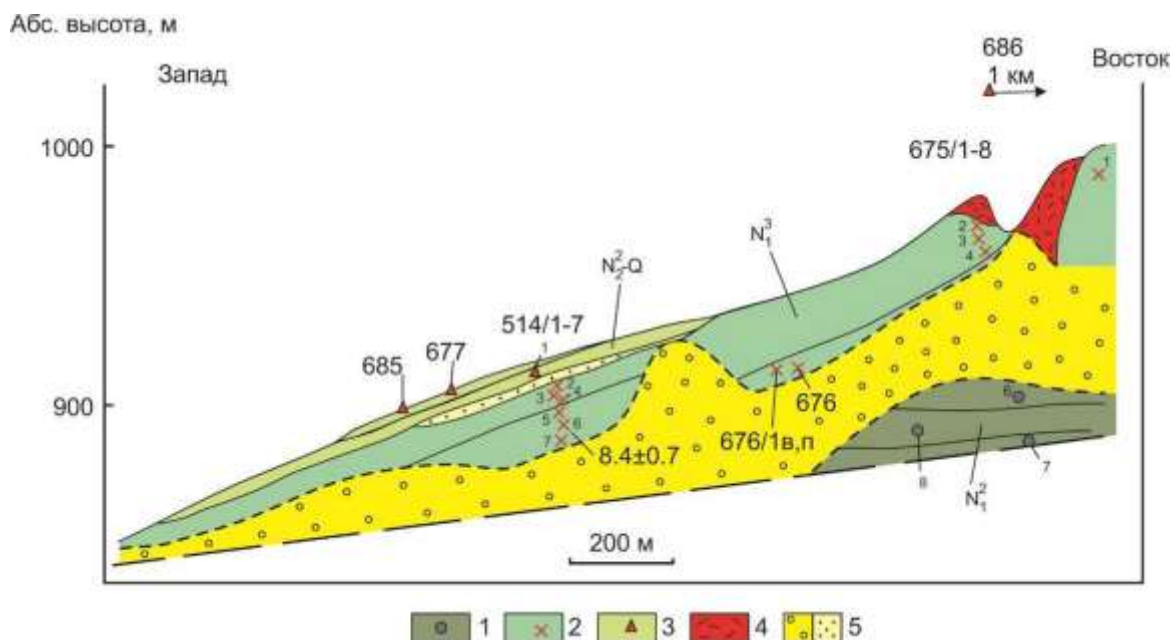
Еловка и в центральной части Еловского отрога. Возраст пород на левом борту Иркутта составляет  $13 \pm 0.4$  млн лет.

Лавы возрастом 11–8 млн лет часто насыщены глубинными включениями. Кроме лав Козьей Шейки, включения содержат лавы нижней и верхней частей лавовой последовательности левого борта долины р. Хобок в его нижнем течении. Здесь потоки с включениями разделены потоком без включений. Включения были охарактеризованы Н.Я. Волянюком и В.Г. Семеновым (1975) как высокоглиноземистые. В нижней части толщи распространены преимущественно ксенолиты клинопироксенитов, в верхней – плагиоклазсодержащих пород (габброидов).

На противоположном борту долины в вулканических породах обнаружены только мегакристаллы и гломеропорфировые скопления андезина. Здесь обнажены фрагменты магмовыводящего канала с агглютинатами и шлаками. Лавовые потоки наклонены от него к Тункинской впадине под углом  $5-7^\circ$ . В 1 км выше по течению р. Хобок потоки содержат

глубинные включения, сходные по составу с включениями из лав левого борта речной долины.

Разрез правого борта долины р. Хобок (рис. 5) показателен для иллюстрации соотношений трех разновозрастных лавовых генераций, относящихся со второй половине среднего миоцена (около 13 млн лет), к верхнему миоцену (11–8 млн лет) и верхнему плиоцену – плейстоцену (<2 млн лет). В 30-метровом уступе над урезом реки обнажаются перемежающиеся потоки, измененные выветриванием, предположительно второй половины среднего миоцена (около 13 млн лет). Выше уступа склон залесен и выположен. На этом уровне в разрезе находится мощный (десятки метров) горизонт обломочных отложений, отделяющий верхнемиоценовые базальты от среднемиоценовых. Верхнемиоценовая лавовая генерация представлена тремя пачками. Нижняя сложена потоками, насыщенными пористыми овальными обособлениями размером до 20 см.



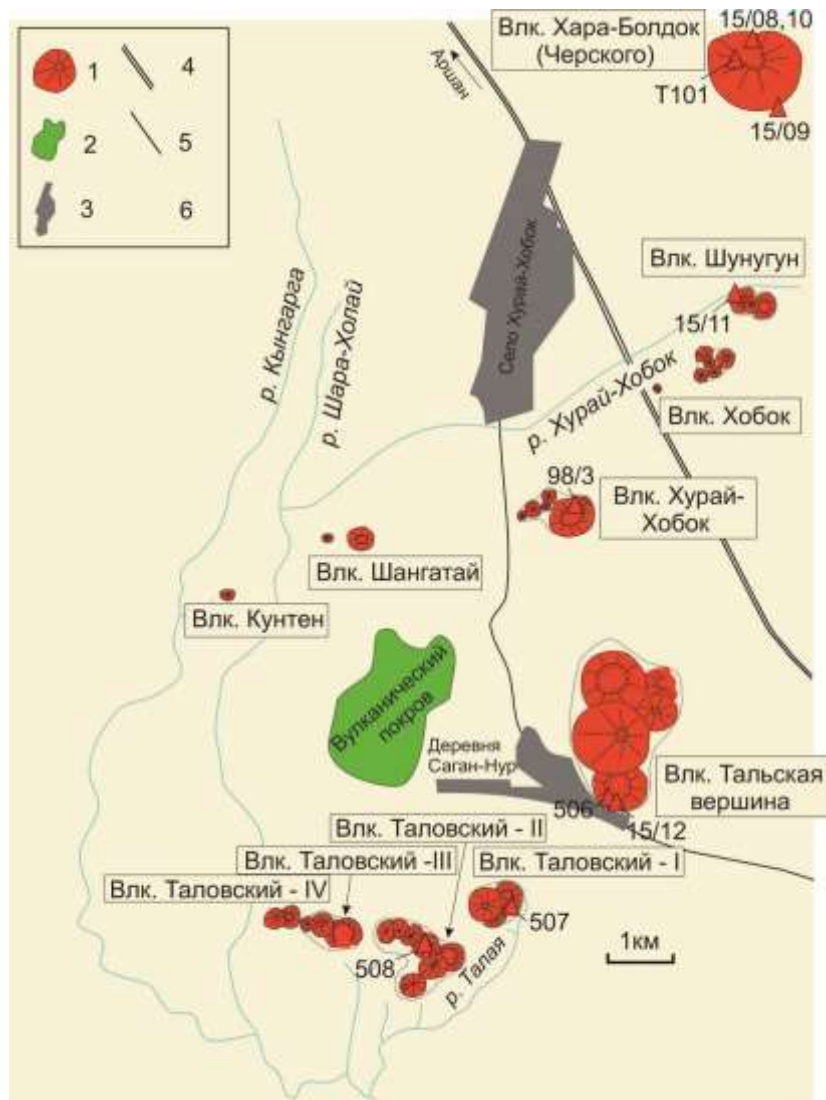
**Рис. 5.** Строение вулканической толщи правого борта р. Хобок. 1–3 — вулканические породы: второй половины среднего миоцена (1), верхнего миоцена (2) и плиоцена-плейстоцена (3); 4 — шлаки вулканической постройки; 5–6 — линзы осадочных пород (галечник) между лавовыми потоками среднего и верхнего миоцена (5) и верхнего миоцена – плиоцена-плейстоцена (6).

**Fig. 5.** Sketch section of volcanic strata of the right side of the Khobok River. 1–3 — volcanic rocks: second half of the Middle Miocene (1), Upper Miocene (2) and Pliocene-Pleistocene (3); 4 — scoria of the volcanic edifice; 5–6 — lenses of sedimentary rocks (pebbles) between lava flows of the Middle and Upper Miocene (5) and Upper Miocene – Pliocene-Pleistocene (6).

Лавы, содержащие включения в основании и кровле толщи левого борта долины р. Хобок показали возраст  $9.2 \pm 0.6$  и  $8.9 \pm 0.3$  млн лет, а лавы без включений правого борта – возраст  $8.4 \pm 0.7$  млн лет (рис. 2а, 7). В гольцовой части Тункинского хребта распространены дайки. По продажам из даек получен интервал К–Аг датировок 14–10 млн лет (Ружич и др., 1972). В ледниковом цирке р. Бухота обнажен изометричный в плане неkk диаметром 50–60 и высотой 30–35 м. Породы некка

насыщены родственными глубинными включениями.

Плиоцен-четвертичные базальты обнажаются в заболоченном днище северо-восточной части впадины (рис. 6) и образуют тонкий покров на Еловском отроге, наращивая вверх миоценовую вулканогенно-осадочную толщу. Среди вулканических конусов днища Тункинской впадины вулкан Хара-Болдок (рис. 7) имеет максимальную высоту 120 м.



**Рис. 6.** Карта–схема плейстоценовых вулканических построек в днище Тункинской впадины. 1 – вулканический конус; 2 – лавы; 3 – селение; 4 – латеральные границы локальной вулканической зоны; 5 – дорога главная; 6 – дорога проселочная. Схема составлена школьниками в рамках работы Детского центра «Лазурит» школы № 7 п. Култук (Грудинин, Чувашова, 2011).

**Fig. 6.** Sketch map of Pleistocene volcanic edifices at the bottom of the Tunka Basin. 1 – volcanic cone; 2 – lavas; 3 – settlement; 4 – lateral boundaries of a local volcanic zone; 5 – main road; 6 – country road. The scheme was compiled by schoolchildren as part of the work of the Lazurit Children's Center of School No. 7 in the Kultuk village (Grudinina, Chuvashova, 2011).



**Рис. 7.** Вулкан Хара-Болдок.

**Fig. 7.** Khara-Boldok Volcano.

Вулкан Хурай-Хобок расположен в 7 км южнее пос. Аршан, рядом с трассой Култук–Аршан. Невысокий (20–25 м) конус шлаков и агглютинатов красного, желтого и черного цвета вскрыт карьерами. Кратер, использованный для извлечения шлаков при строительстве, представляет собой один из карьеров. Шлаки прорваны базальтовыми дайками мощностью до 1 м. Дайки простираются с юга на север. Возраст вулкана, по данным К–Аг датирования, составляет около 1.6 млн лет. Базальты имеют обратную намагниченность хрона Матуяма (определения В.А. Кравчинского). Склоны вулкана Хурай-Хобок покрыты лёссами, образующими однородный слой и неоднородный слой, содержащий включения шлаков. Однородный слой достигает в пониженных местах 3 и более метров, неоднородный слой не превышает 0.5 м (Алокла и др., 2022).

Фрагмент лавового покрова, покрывающего склон Еловского отрога, наблюдается на левом берегу р. Иркут. Слой базальтов с К–Аг датировкой 2.4 млн лет перекрывает пески. Базальт чёрного цвета, с толстостолбчатой отдельностью в потоке, содержит включения зеленых клинопироксенитов (пироксен – фассаит) и мегакристаллов авгита и плагиоклаза. Песок, подстилающий лавовый поток, мелко-среднезернистый, похож на современный песок р. Иркут. Он обожжен

лавой и на контакте имеет красный цвет (Расказов, 2025).

В верховьях р. Хобок находится обнажение 200-метровой верхнеплиоценовой грубообломочной толщи (Логачев, 1956). К–Аг датирование двух перекрывающих эти отложения потоков показало значения возраста  $2.4 \pm 0.36$  и  $1.73 \pm 0.3$  млн лет (см. рис. 2б). Нижний поток пепельно-серых пород с габброидными включениями сопоставляется с таким же потоком, перекрывающим линзу галечников в нижнем течении р. Хобок. Четвертичные шлаковые конусы с фрагментами лав находятся в южной части Еловского отрога (сопка Даргатуйская и др.). Здесь же, на водоразделе Ахалика и Иркут, карьером вскрыта жерловая фацция одного из позднеплиоцен-четвертичных вулканических аппаратов. В черных массивных стекловатых породах и шлаках содержатся ксенолиты пегматоидных плагиогранитов, зеленых скарноподобных клинопироксенитов и мегакристаллы андезина. Последние два типа включений распространены в лавах, покрывающих здесь западный склон Еловского отрога. По соотношениям радиогенного  $^{40}\text{Ar}$  и  $^{40}\text{K}$  в плагиоклазе гранитного ксенолита из пород жерловой фации рассчитано время отжига ксенолита  $0.86 \pm 0.3$  млн лет.

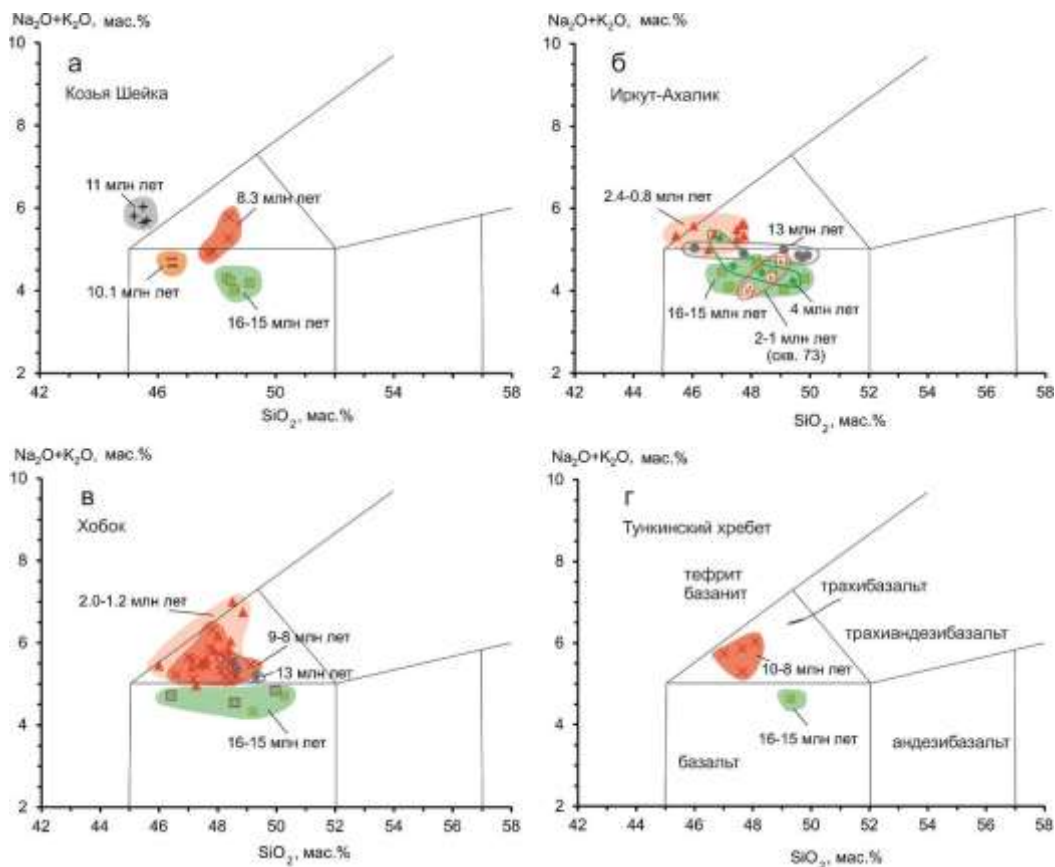
Для вулканических пород с глубинными ксенолитами из субвулканического тела устья Марты (правого притока Маргасана)

приводится К–Аг датировка  $2 \pm 0.3$  млн лет (Ащепков и др., 2003). Это тело находится в 3 км юго-восточнее разреза Козьей Шейки, в котором слой вулканических пород с глубинными ксенолитами имеет отчетливый стратиграфический контроль в последовательности вышележащих и нижележащих лавовых слоев (см. рис. 4). По наличию ксенолитов Мартинское субвулканическое тело может коррелироваться с лавами разреза Козьей Шейки возрастом 11 млн лет. К–Аг датировка  $2 \pm 0.3$  млн лет этого тела может быть омоложена и нуждается в подтверждении.

**Результаты сравнительного анализа последовательностей вулканических пород**

При изучении состава вулканических пород Тункинской впадины в химической

лаборатории ИЗК СО РАН выполнено более 60 силикатных анализов пород по методике (Сизых, 1985). На классификационной диаграмме щелочи–кремнезем вулканические породы относятся к базальтам, трахибазальтам и тефритам-базанитам. На территориях 1–3 (Козья Шейка, Иркут–Ахалик и Хобок) отчетливо различается возрастная генерация вулканических пород 16–15 млн лет базальтового состава. На территории 4 (Тункинский хребет) с этой возрастной генерацией коррелируется по составу порода дайки долины р. Харимпта. Более молодые вулканические породы всех территорий профиля в целом смещаются от базальтов к трахибазальтам с переходом к тефритам-базанитам (рис. 8).



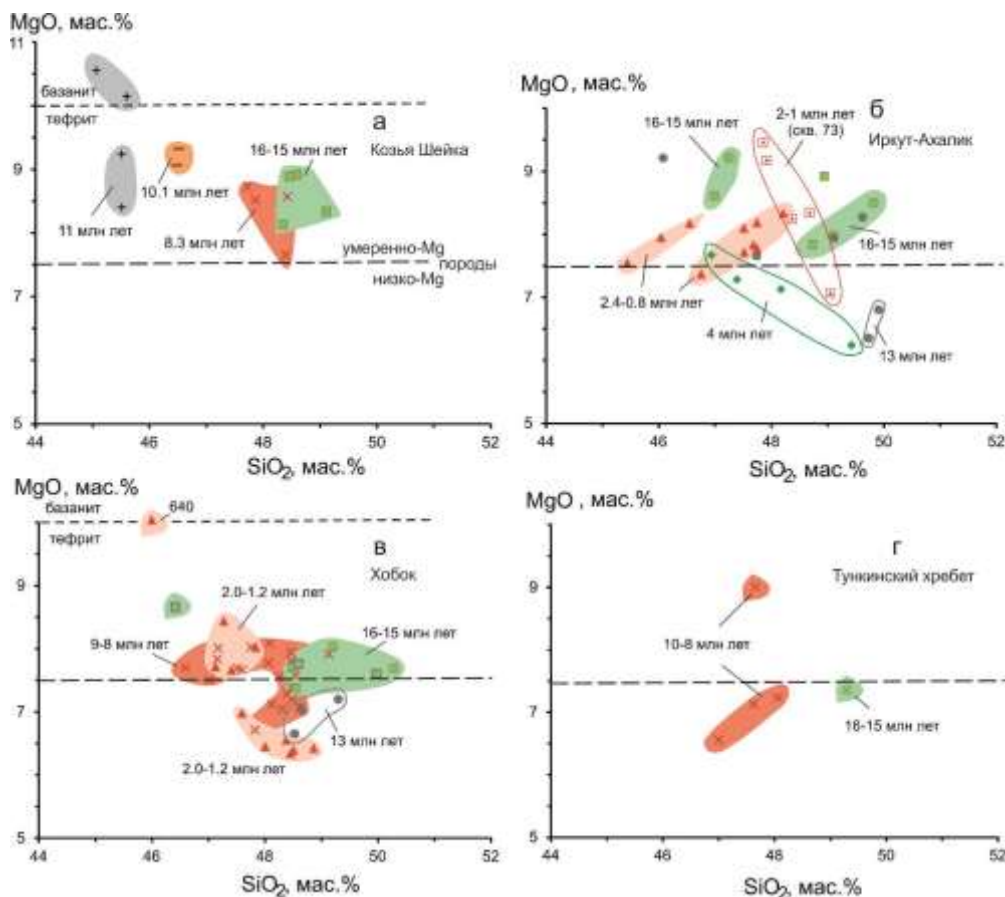
**Рис. 8.** Классификационные диаграммы щелочи–кремнезем последовательностей вулканических пород Тункинской впадины и сопредельных территорий. Разновозрастные вулканические генерации обозначаются значками, использованными для обозначения точек отбора образцов на картах-схемах рис. 3а, б и на разрезах рис. 3б, в, 4, 5.

**Fig. 8.** Alkali versus silica classification diagrams of volcanic rock sequences in the Tunka Basin and adjacent areas. Volcanic generations of different ages are indicated by the symbols used to mark sampling points on the maps (Figs. 3a, б) and on the cross-sections (Figs. 3б, в, 4, 5).

В разрезе Козьей Шейки различаются 4 пачки вулканических пород разного состава. Выше генерации лав 16–15 млн лет (пачка 1) лежат потоки, насыщенные глубинными ксенолитами (пачка 2). В соответствии с рекомендациями (Le Bas, 1989), два образца этой пачки с содержанием MgO 10.2–10.5 мас.% относятся к базанитам, а два других с содержанием MgO 8.4–9.2 мас.% – к тефритам. Залегающая выше пачка 3 возрастом 10.1 млн лет имеет базальтовый состав. Разрез венчается пачкой 4 возрастом 8.3 млн лет базальт-трахибазальтового состава. Все породы разреза Козьей Шейки имеют умеренно-Mg состав (рис. 9).

В последовательности вулканических пород территории Иркут-Ахалик базальты возрастной генерации 16–15 млн лет умеренно-Mg состава сопоставляются с одновозрастными умеренно-Mg базальтами Козьей Шейки. Лавовая генерация возрастом 13 млн

лет отличается от генерации базальтов 16–15 млн лет общим смещением фигуративных точек диаграммы щелочи–кремнезем на границу между базальтами и трахибазальтами при широких вариациях SiO<sub>2</sub>. В отличие от пород генерации 16–15 млн лет, в породах генерации 13 млн лет территории Иркут-Ахалик содержание MgO меняется в широком диапазоне значений (6.4–9.2 мас.%). Породы следующей возрастной генерации 4 млн лет дают тренд от базальтов к трахибазальтам при возрастании суммы щелочей с понижением SiO<sub>2</sub>. На конце этого тренда (т.е. в поле трахибазальта) находятся фигуративные точки плейстоценовых вулканических пород (рис. 8б). Таким образом, на территории Иркут-Ахалик смена базальтов трахибазальтами реализуется дважды: сначала с 16–15 к 13 млн лет назад, затем – с 4 к 2.0–0.8 млн лет назад.



**Рис. 9.** Диаграммы MgO–SiO<sub>2</sub> последовательностей вулканических пород Тункинской впадины и сопредельных территорий. Условные обозначения см. на рис. 8.

**Fig. 9.** MgO versus SiO<sub>2</sub> diagrams of volcanic rock sequences in the Tunka Basin and adjacent areas. Symbols are as in Fig. 8.

В последовательности вулканических пород территории Хобок базальты возрастной генерации 16–15 млн лет отличаются от всех

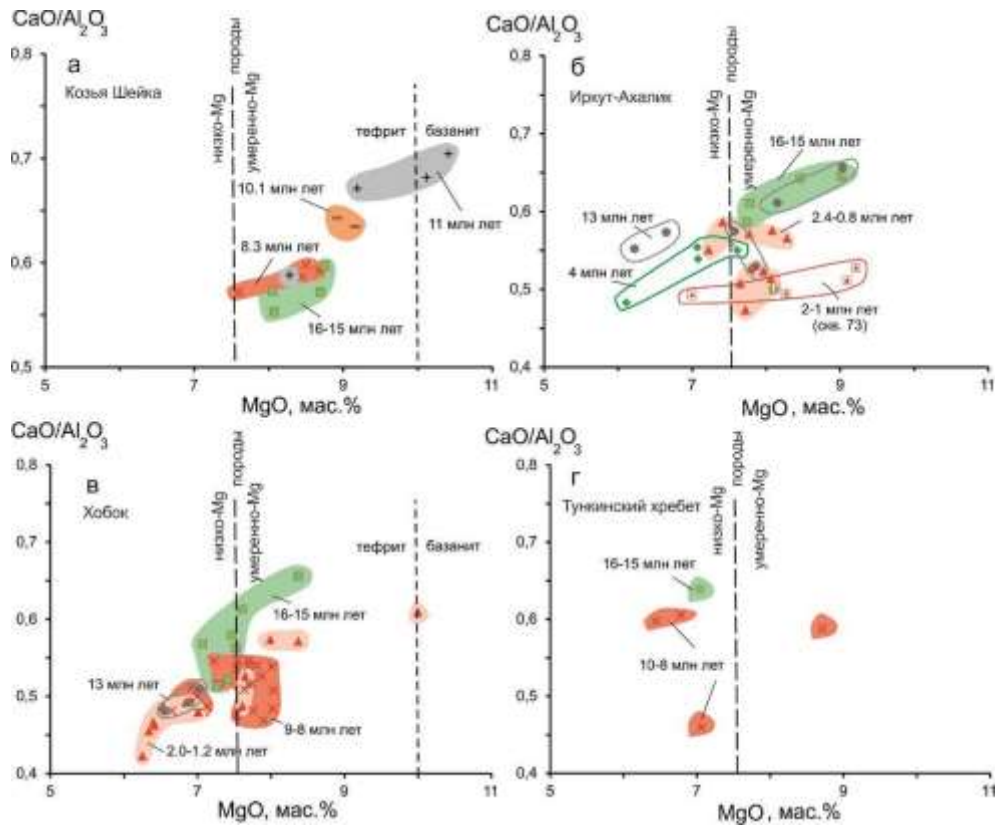
более молодых пород трахибазальтового состава пониженным содержанием суммы щелочей. Обр. 517, для которого получена K–Ar

датировка 72 млн лет, имеет низкое содержание  $\text{SiO}_2$  (46.4 мас.%) при повышенном содержании  $\text{MgO}$  (8.65 мас.%). На рис. 9 в базальты возрастной генерации 16–15 млн лет территории Хобок показывают ограниченный диапазон  $\text{MgO}$  на границе умеренно- и низко-Mg составов и начинают два тренда. Один тренд направлен в нижнюю часть диаграммы через фигуративное поле трахибазальтов 13 млн лет к более молодым трахибазальтовым составам с относительным снижением  $\text{SiO}_2$  и  $\text{MgO}$ . Другой тренд направлен в левую часть диаграммы с относительным снижением содержания  $\text{SiO}_2$ . Наиболее низкое содержание  $\text{SiO}_2$  (46 мас.%) при максимальном содержании  $\text{MgO}$  (10 мас.%) имеет обр. 640, занимающий пограничное положение между тефритом и базанитом.

Базальты и трахибазальты Тункинского хребта имеют преимущественно низко-Mg

состав (рис. 9г). Тенденция распространения низко-Mg пород территории Хобок сохраняется, хотя один образец дайки Харимпты (525/5) имеет повышенное содержание  $\text{MgO}$  (9 мас.%).

Петрохимические различия вулканических пород территорий подчеркиваются на диаграммах  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  (рис. 10). В последовательности вулканических пород Козьей Шейки базальты возрастной генерации 16–15 млн лет имеют самое низкое отношение  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ . В породах более молодых генераций это отношение в целом возрастает. В последовательности вулканических пород территорий Иркут-Ахалик, Хобок и Тункинский хребт базальты возрастной генерации 16–15 млн лет имеют, наоборот, высокое отношение  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ . В породах более молодых генераций этих территорий отношение  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  в целом снижается.



**Рис. 10.** Диаграммы  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  последовательностей вулканических пород Тункинской впадины и сопредельных территорий. Условные обозначения см. на рис. 8.

**Fig. 10.**  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  diagrams of volcanic rock sequences in the Tunka Basin and adjacent areas. Symbols are as in Fig. 8.

## Обсуждение результатов

### Тренды кристаллизационного фракционирования

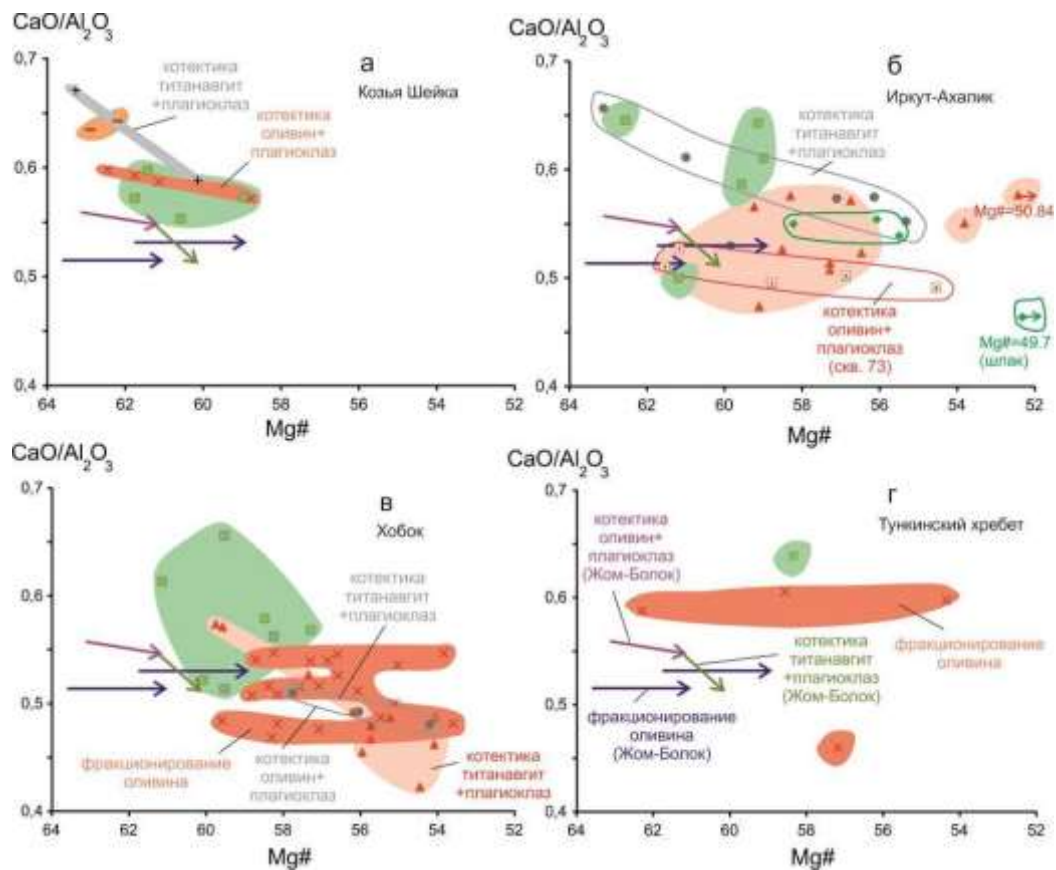
Петрохимическая изменчивость вулканических пород в возрастных генерациях может быть связана как с выплавлением магм в глубинном источнике, так и с кристаллизацией расплавов на пути их движения в магматических каналах или в лавовых потоках. Для расчета корректных моделей плавления используются концентрации микроэлементов в выплавках с учетом коэффициентов распределения минерал–расплав, которые, как правило, существенно ниже 1. В настоящей работе микроэлементы вулканических пород не рассматриваются. Соответственно, модели плавления не рассчитываются. Даются предварительные оценки изменения состава расплавов, кристаллизующихся в потоке.

Основанием для выделения кристаллизационных трендов служат результаты сравнительных исследований состава предголоценовых трахибазальтов и тефритов в северной части позднекайнозойского Окинского вулканического поля – Усть-Жомболокского лавового покрова Окинской впадины и лавовых потоков и шлаковых конусов верховьев р. Жом-Болок и пади Хи-Гол в осевой части хр. Большой Саян. По морфологии поверхности лавовых слоев обеих территорий предполагается концентрирование остаточных расплавов в трубоподобных каналах с последующим удалением из них и обрушением кровли. В обнажениях Усть-Жомболокского лавового покрова Окинской впадины выявлен тренд снижения  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  со слабым относительным снижением магнезиального числа  $\text{Mg}\#$  пород переходной фации между фациями закалки и остаточного расплава «трубы». Тренд отражает контроль перераспределения компонентов совместной кристаллизацией титанавгита и плагиоклаза на ранней стадии периферического отвердевания базальтового слоя. В породах доступных для опробования

верхних частей незродированных лавовых потоков осевой части хр. Большой Саян различаются тренды фракционирования оливина с участием Са-плагиоклаза (с повышенным  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и без участия Са-плагиоклаза (с низким  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Последний тренд соответствует котектике оливин+титанавгит. Тренд фации «трубы» (котектика титанавгит+плагиоклаз с варьирующим  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  при узком диапазоне  $\text{Mg}\#$ ) в породах осевой части хр. Большой Саян не идентифицируется (Рассказов и др., 2025а).

Кристаллизация оливина выражается в снижении магнезиальности остаточного расплава без каких-либо вариаций отношения  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Тренды отделения оливина наблюдаются в трахибазальтах генерации 10–8 млн лет на территориях Хобок и Тункинский хребет (рис. 11в,г). Смещение трех из четырех фигуративных точек лав возрастом 4 млн лет территории Иркут-Ахалик вдоль оси абсцисс также может интерпретироваться как следствие кристаллизации оливина. Четвертый состав пород этой возрастной генерации отличается низким значением  $\text{Mg}\#$  (49.7) при пониженном отношении  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  (0.48) (рис. 11б). В отличие от других (массивных) пород генерации 4 млн лет, эта порода является вулканическим шлаком. Образец отобран в верхней части обнажения Замараихи, в котором представлена плиоцен-плейстоценовая (?) часть разреза (Логачев, 1956). В данном случае шлак не обнаруживает генетической связи с одновозрастными массивными базальтами.

Если при кристаллизации расплава к оливину присоединяется плагиоклаз, снижение магнезиальности остаточных расплавов сопровождается слабым снижением отношения  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Тренды плагиоклаз-оливиновой котектической кристаллизации, параллельные соответствующему тренду Жом-Болока, определяются для группы базальтов-трахибазальтов возрастом 8.3 млн лет кровли разреза Козьей Шейки (рис. 11а), а также для обломков пород генерации 2–1 млн лет из никольской скв. 73 территории Иркут-Ахалик (рис. 11б).



**Рис. 11.** Диаграммы  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Mg}\#$  последовательностей вулканических пород Тункинской впадины и сопредельных территорий.  $\text{Mg}\# = 100 \times \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  в атомных количествах при коррекции  $\text{Fe}^{3+} = 0.15\text{Fe}_{\text{общ}}$ . Условные обозначения см. на рис. 8.

**Fig. 11.**  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  versus  $\text{Mg}\#$  diagrams of volcanic rock sequences of the Tunka Basin and adjacent areas.  $\text{Mg}\# = 100 \times \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$  in atomic quantities with the correction  $\text{Fe}^{3+} = 0.15\text{Fe}_{\text{total}}$ . Symbols are as in Fig. 8.

Котектическая кристаллизация титанавгита и плагиоклаза в Усть-Жомболокском покрове выражена более крутым наклоном тренда с узким интервалом значений  $\text{Mg}\#$  (Рассказов и др., 2025а). Параллельно этому тренду протягиваются тренды базанитов Козьей Шейки возрастом 11 млн лет (рис. 11а) и трахибазальтов территории Хобок возрастом 2.0–1.2 млн лет (рис. 11в). Меньший наклон наблюдается для трендов пород возрастных генераций 13 млн лет территорий Иркут-Ахалик и Хобок (рис. 11б,в).

Породы Козьей Шейки находятся в области магнезиальных составов ( $\text{Mg}\# = 59\text{--}63$ ), характерных для предголоценовых пород Восточных Саян. Породы других территорий смещаются в менее магнезиальную область. Наиболее низкое значение  $\text{Mg}\#$  (~50) имеют породы территории Иркут-Ахалик. Снижение этого параметра может

свидетельствовать о плавлении железо-магнезиальных пород в источнике.

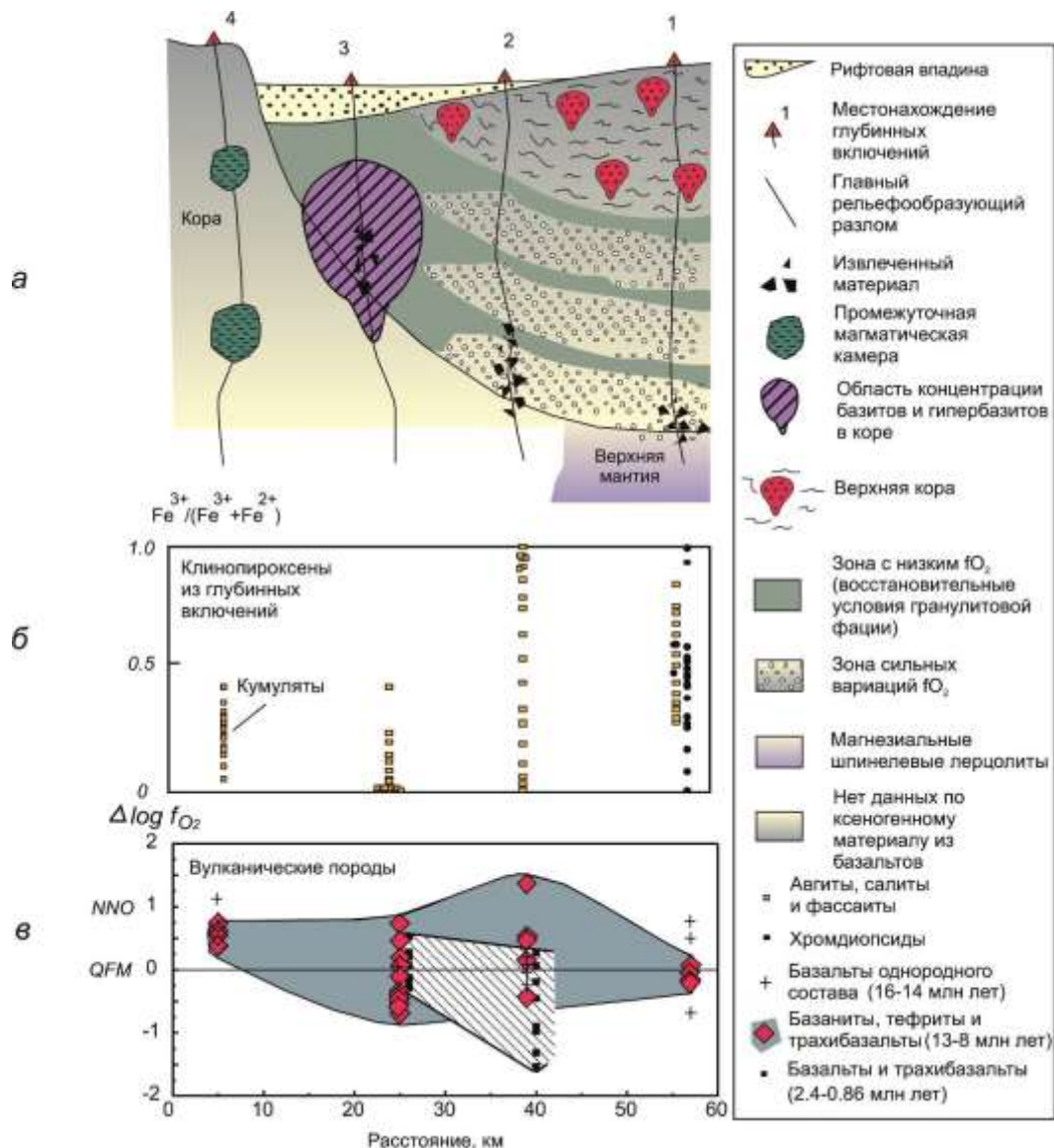
Интерпретация трендов имеет предварительный характер и должна уточняться с привлечением концентраций микроэлементов вулканических пород.

*Сходство и различие вариаций состава разновозрастных генераций вулканических пород и их глубинных включений по латерали Тункинской долины*

Изучение глубинных включений из вулканических пород выявило смену их ассоциаций и широкие вариации степени восстановленности–окисленности железа в минералах вкрест простирания Тункинской долины (рис. 12). На Тункинских гольцах (точка 4 на рис. 12) включения представлены оливин-клинопироксеновыми и плагиоклаз-амфиболовыми кумулатами, кристаллизовавшимися из базальтовых расплавов на уровне земной

коры. В северо-восточной части Тункинской котловины (точка 3 на рис. 12) восстановленные условия выражены в преобладании  $Fe^{2+}$  в клинопироксенах и шпинелях ксенолитов. В южной части Тункинской котловины (точка 2 на рис. 12) находятся ксенолиты зеленых скарноподобных шпинельсодержащих и бесшпинелевых клинопироксенитов. Исследование сложных образцов из этого местонахождения включений показало, что шпинельсодержащие породы кристаллизовались в

относительно восстановленных условиях, а бесшпинелевые – в более окисленных. Типичные ксенолиты хромдиопсидсодержащих шпинелевых лерцолитов не встречаются среди включений из базальтов Тункинской котловины, но найдены в базальтах южного плеча рифтовой долины (точка 1 на рис. 12). Как и в минералах скарноподобных пород местонахождения 2, хромдиопсиды шпинелевых лерцолитов обнаруживают широкие вариации восстановленности–окисленности железа.



**Рис. 12.** Предполагаемый контроль извлечения ксеногенного корового материала по падению основного рельефообразующего листрического разлома Тункинской рифтовой долины поднимающимися трахибазальтовыми расплавами (а), восстановленность–окисленность железа в клинопироксенах из глубинных включений (б) и вариации  $f_{O_2}$  в вулканических породах (в). Значения  $\Delta \log f_{O_2}$  рассчитывались по эмпирическим коэффициентам (Kilinc et al., 1983).  $Fe^{3+}$  и  $Fe^{2+}$  в клинопироксенах рассчитывались по балансу зарядов. Местонахождения глубинных включений (с юга на север): 1 – Козья Шейка; 2 – Иркут–Ахалик; 3 – Хобок; 4 – Тункинский хребет. Из монографии (Чувашова, Рассказов, 2014).

**Fig. 12.** Inferred control of xenolith crustal material extraction along the dip of the listric master fault of the Tunka Rift Valley by rising trachybasaltic melts (*a*), iron reduction-oxidation state in clinopyroxenes from deep-seated inclusions (*b*) and  $fO_2$  variations in volcanic rocks (*c*).  $\Delta \log fO_2$  values were calculated using empirical coefficients (Kilinc et al., 1983).  $Fe^{3+}$  and  $Fe^{2+}$  in clinopyroxenes were calculated from charge balance. Locations of deep inclusions (from south to north): 1 – Kozya Sheika; 2 – Irkut–Akhalik; 3 – Khobok; 4 – Tunka Range. From the monograph (Chuvashova, Rasskazov, 2014).

Основной рельефообразующий разлом Тункинской рифтовой долины ограничивает ее северный крутой склон и погружается к югу под долину до коромантийного перехода (КМП) под его южным (хамардабанским) плечом. Ксенолиты могли извлекаться восходящими базальтовыми расплавами с различных глубин, контролируемых главным рельефообразующим разломом. С приближением к Тункинскому разлому в расплавы попадали глубинные включения с меньших глубин. Запечатленные в ксенолитах восстановительные условия согласуются с предположением о продолжении зоны гранулитовой фации метаморфизма из восточной в центральную часть Тункинской долины. Переход от гранулитовой к амфиболитовой фации соответствует переходу от восстановительных условий (низкая фугитивность кислорода) к сильно меняющимся от восстановительных до окислительных (фугитивность кислорода варьирует) в глубокой части земной коры и в области КМП (Рассказов и др., 2010; Чувашова, Рассказов, 2014).

В вулканических породах были отмечены заметные вариации окислительно-восстановительного потенциала. Степень окисленности средне-позднемиоценовых лав хр. Хабар-Дабан (точка 1, Козья Шейка) и северо-восточной части Тункинской впадины (точка 3, р. Хобок) в общем соответствовала буферу QFM (кварц – фаялит – магнетит). Таким режимом характеризовалось большинство вулканических полей Внутренней Азии. Позднемиоценовые субвулканические породы Тункинского хребта (точка 4) отличались большей окисленностью. Этому способствовали повышенные концентрации воды в расплавах, выразившиеся в кристаллизации водосодержащего минерала (керсутита). В излившихся расплавах юго-восточной части впадины окислительно-восстановительный потенциал варьировал во времени. В начале среднего миоцена (16–14 млн лет назад) он соответствовал буферу QFM (т.е. был подобен окислительно-восстановительному потенциалу в лавах точки 1, Козья Шейка). В конце среднего миоцена и в первой половине позднего миоцена (13–8 млн лет назад) окисленность возросла выше этого буфера; проявилась тенденция, свойственная расплавам,

внедрявшимся в кору Тункинского хребта (точка 4). В плейстоцене (2.4–0.8 млн лет назад) окисленность, наоборот, снизилась; флюидные компоненты заключительного вулканизма в рифтовой долине были восстановленными (Чувашова, Рассказов, 2014).

При изучении литологии осадочных отложений в опорных скважинах Тункинской впадины С.А. Кашиком и В.Н. Мазилковым был сделан вывод о начальном поступлении в нее обломочного материала с южного горного обрамления (хребты Хамар-Дабан и Ургудеевский) и о более позднем поступлении обломочного материала с северного горного обрамления (хр. Тункинский) (устное сообщение на международной экскурсии в 1986 г.). Соответственно, сначала вовлекалась в тектонические движение южная стержневая часть Тункинской долины в связи с поднятием хребтов Хамар-Дабан и Ургудеевский, а затем ее северная стержневая часть в связи с поднятием Тункинского хребта. Различие тектонических движений южной и северной стержневых частей долины должно было отразиться в изменении позднекайнозойской вулканической активности и вариациях состава вулканических пород вкрест ее простиранья.

Из сопоставления петрохимических характеристик вулканических пород четырех территорий, наряду с вариациями окисленности-восстановленности магматических флюидов (см. рис. 12), выявляются следующие закономерности:

1) вулканические породы возрастной генерации 16–15 млн лет на всех территориях профиля имеют сходный (базальтовый) состав;

2) вулканические породы возрастной генерации 13 млн лет находятся на территориях стержневой части Тункинской долины (Иркут-Ахалик, Хобок) и, возможно, ее северного горного обрамления (Тункинский хребет), но выпадают из разреза ее южного горного обрамления (Козьей Шейки);

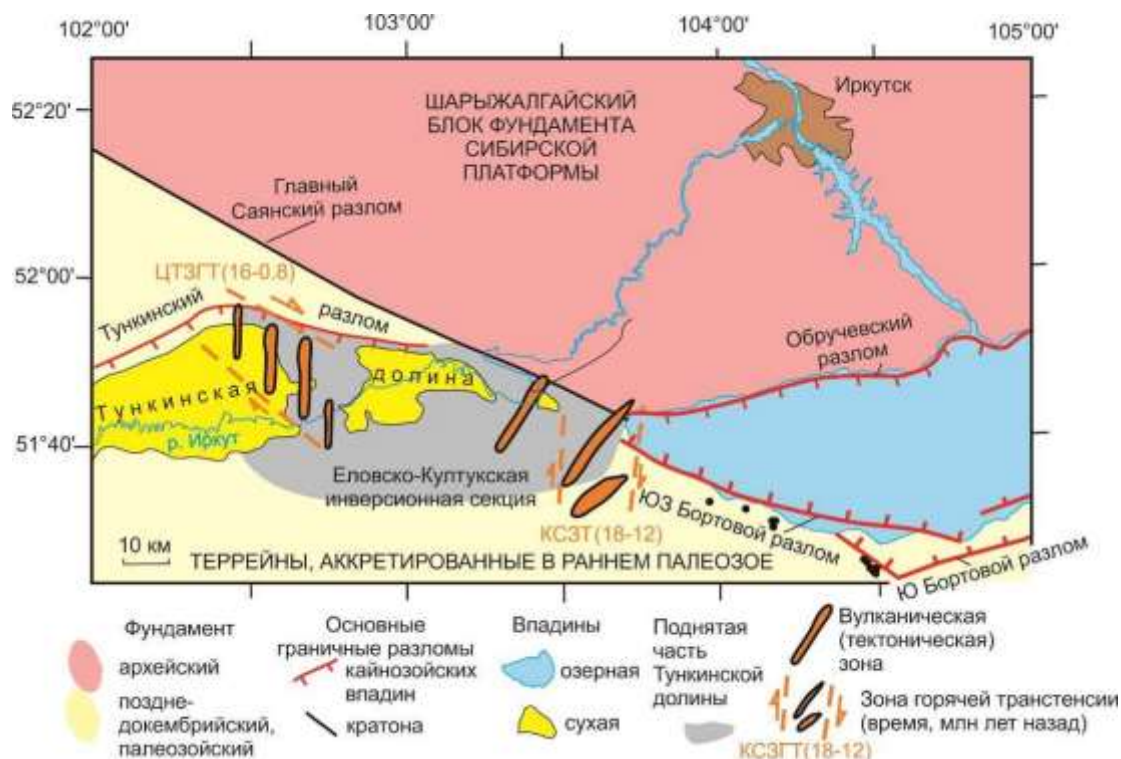
3) вулканические породы возрастной генерации 11–8 млн лет Козьей Шейки характеризуются проявлением около 11 млн лет пород высокощелочного состава – тефритов и базанитов, которые отличаются от разновозрастных пород других территорий профиля

более магнезиальным составом и относительным возрастанием отношения  $CaO/Al_2O_3$ ;

4) вулканические породы возрастной генерации 4–0.8 млн лет находятся на территориях стержневой части Тункинской долины (Иркут-Ахалик, Хобок), но отсутствуют в разрезе вулканической толщи ее южного горного обрамления (Козьей Шейки) и в субвулканических телах северного горного обрамления (Тункинского хребта).

С одной стороны, на обширной территории запада БРС распространяются сходные между собой по составу базальты возрастной генерации 16–15 млн лет, с другой стороны, все последующие возрастные генерации территорий профиля центральной части Тункинской долины представлены вулканическими породами различного состава. Более того, базальтовая возрастная генерация 16–15 млн лет этой территории имеет петрохимическое сходство с одновозрастной базальтовой генерацией ее восточного окончания, тогда как

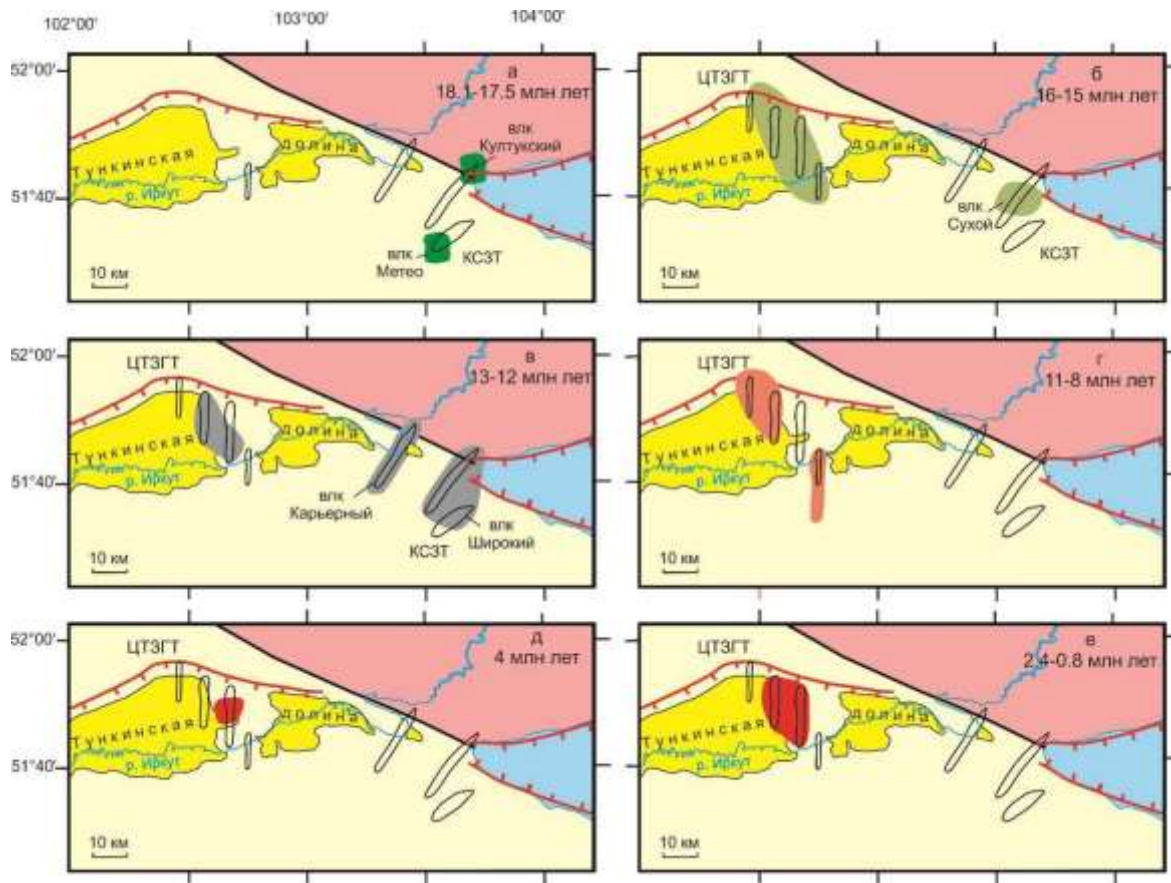
вулканические породы более ранней и более поздней возрастных генераций востока долины (соответственно, 18–17.5 и 13–12 млн лет) имеют свои петрохимические особенности (Рассказов и др., 2013; Rasskazov et al., 2021). Деформации коры в восточной части Тункинской долины определяются структурой жесткого края фундамента Сибирского палеоконтинента. От этой части долины современные деформации распространяются к востоку (в Южно-Байкальской впадине) – с растяжением, к западу (в восточной части Тункинской долины) – с инверсионным сжатием. Камарско-Становая зона горячей трансенсии (КСЗГТ) отделяется от Центрально-Тункинской (ЦТЗГТ) Еловско-Култукской инверсионной секцией, в которой растяжение с течением времени сменяется сжатием (рис. 13). Вулканизм начинается 18.1–17.5 млн лет назад в КСЗГТ, охватывает ЦТЗГТ 16–15 млн лет назад и продолжается в ней до 0.8 млн лет назад (рис. 14).



**Рис. 13.** Структурное положение Камарско-Становой и Центрально-Тункинской зон горячей трансенсии (соответственно, КСЗГТ и ЦТЗГТ) на восточном и западном краях Еловско-Култукской инверсионной секции Тункинской долины. Вулканические (тектонические) зоны горячей трансенсии протягиваются по преобладающему направлению даек. Проникновение магматических расплавов КСЗГТ обеспечивается растяжением коры в направлении северо-запад–юго-восток (вдоль Главного Саянского разлома) во временном интервале 18–12 млн лет назад, а в ЦТЗГТ – растяжением коры в направлении запад–восток (вдоль субширотного фрагмента Тункинского разлома) во временном интервале 16–0.8 млн лет назад.

**Fig. 13.** Structural setting of the Kamar-Stanovoy and Central Tunka hot transtension zones (КСЗГТ and ЦТЗГТ, respectively) at the eastern and western margins of the Elovka-Kultuk inversion section in the Tunka Valley. Volcanic (tectonic) hot transtension zones extend along the prevailing dike directions.

Penetration of magmatic melts within the КСЗГТ is ensured by northwest–southeastern crustal extension (along the Main Sayan Fault) in the time interval of 18–12 Ma, and in the ЦТЗГТ – by west–eastern crustal extension (along the west–eastern fragment of the Tunka Fault) in the time interval of 16–0.8 Ma.



**Рис. 14.** Схема последовательности развития вулканизма в зонах горячей транстенсии центральной и восточной частей Тункинской долины. Условные обозначения см. рис. 13. Вулканические проявления временных интервалов панелей а–е показаны цветами символов и фигуративных полей графиков рис. 8–11. Контур фрагмента зоны транстенсии или его часть без окраски означает отсутствие вулканической активности.

**Fig. 14.** Schematic succession of volcanic evolution in hot transtension zones of the central and eastern Tunka Valley. Symbols are as in Fig. 13. Volcanic areas of the time intervals in panels a–e are shown by the colors of the symbols and data fields in the graphs of Figs. 8–11. Outlines of transtension zone fragments or their uncolored parts correspond to areas without volcanic activities.

Однородная базальтовая генерация возрастом 16–15 млн лет находится не только в центральной и восточной частях Тункинской долины, но и на других территориях запада БРС. Масштаб ее распространения с соответствующей оценкой ее геологического значения в западной части БРС будет рассматриваться в отдельной работе. Здесь нужно обратить внимание на извержение базальтов однородного состава в Тункинской долине БРС приблизительно в одно время с извержениями пикробазальтовых и базанитовых расплавов Береинского вулканического центра Витимского поля, которые маркируют

импульс глубинного мантийного магматизма в оси Японско-Байкальского геодинамического коридора, синхронный с задуговым раскрытием впадины Японского моря (Chuvashova et al., 2017).

От среднего миоцена к позднему и далее к плиоцену-плейстоцену состав вулканических пород Тункинской долины и сопредельных территорий в целом меняется от базальтового к трахибазальтовому. На стержневой территории долины Иркут-Ахалик смена базальтов трахибазальтами реализуется дважды: сначала в средне-позднемиоценовом временном интервале 16–13 млн лет назад, затем – в

плиоцен-четвертичном временном интервале 4–0.8 млн лет назад. Эта особенность временных вариаций состава лав может служить подтверждением наиболее контрастной смены условий в нижней части коры и подстилающей мантии по латерали центральной части Тункинской долины, выявленной по составу глубинных включений из вулканических пород (см. рис. 12).

### **Заключение**

Из результатов сравнительного анализа состава разновозрастных генераций вулканических пород на четырех территориях, распределяющихся вкрест простирания центральной части Тункинской рифтовой долины, следует вывод об особом значении однородных лав базальтового состава, извергавшихся 16–15 млн лет назад не только в центральной, но и в восточной части Тункинской долины. Эта генерация лав маркирует импульс глубинного мантийного магматизма в осевой части Японско-Байкальского геодинамического коридора, синхронный с задуговым раскрытием впадины Японского моря. Последующие вулканические эпизоды 13, 11–8 и 4–0.8 млн лет назад выражаются в вариациях состава извергавшихся лав, отражающих меняющиеся условия магмообразования в Центрально-Тункинской зоне горячей трансенсии при угасании активности Камарско-Становой зоны на ее восточном окончании.

В южной стержневой части Тункинской долины (территория Иркут-Ахалик) состав вулканических пород меняется от базальтового к трахибазальтовому дважды: сначала в среднемиоценовом временном интервале 16–13 млн лет назад, затем – в плиоцен-четвертичном временном интервале 4–0.8 млн лет назад. С 13 до 4 млн лет назад в вулканизме территории Иркут-Ахалик намечается перерыв. В северной стержневой части Тункинской долины (территория Хобок) базальты сменяются трахибазальтами в среднем миоцене (16–13 млн лет назад), а в позднем миоцене (9–8 млн лет назад) и в плиоцене-плейстоцене (2.0–1.2 млн лет назад) извергаются только трахибазальты. В южном горном обрамлении (хр. Хамар-Дабан) и северном горном обрамлении (хр. Тункинский)

проявляется только вулканизм среднего-позднего миоцена (16–8 млн лет назад).

### **Вклад авторов**

Рукопись подготовлена по проекту ИЗК СО РАН FWEF-2026-0010 в рамках решения образовательных задач магистерского курса заочного обучения геологического факультета ИГУ в 2026 г. «Подготовка, оформление и представление результатов научно-исследовательских и научно-производственных работ». Текст подготовлен преподавателем курса С.В. Рассказовым с участием преподавателя И.С. Чувашиной на основе материалов монографии (Рассказов, 1993), дополненных и расширенных новыми данными, полученными при полевых исследованиях в 1990–2020-х гг. Систематизация петрохимических данных проводилась с участием Т.А. Ясныгиной. Другие авторы статьи были слушателями курса.

### **Благодарности**

Петрогенные оксиды пород из коллекции (Рассказов, 1993) и новых образцов, использованных в статье, определялись химиками-аналитиками Т.А. Лахно, Н.Г. Таскиной, Г.В. Бондаревой и М.М. Самойленко в ИЗК СО РАН.

### **Литература**

- Алокла Р., Чувашова И.С., Рассказов С.В., Акулова В.В., Рубцова М.Н., Будаев Р.Ц. Лессовидные породы на вулканическом конусе Хурай-Хобок в Тункинской впадине // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2022. Т. 41. С. 3–20. doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.3
- Ащепков И.В., Травин А.В., Сапрыкин А.И., Андре Л., Герасимов П.А., Хмельникова О.С. О возрасте ксенолитсодержащих базальтов и мантийной эволюции в Байкальской рифтовой зоне // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 11. С. 1162–1190.
- Белов И.В. Трахибазальтовая формация Прибайкалья. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 371 с.
- Волянюк Н.Я., Семенова В.Г. О находке глиноземистых ультраосновных включений в базальтах Байкальской рифтовой зоны. Доклады АН СССР. 1975. Т. 222, № 5. С. 1186–1189.
- Грачев А.Ф. Хамар-Дабан – горячая точка Байкальского рифта // Физика Земли. 1998. № 3. С. 3–28.

- Грудинин М.И., Чувашова И.С. (составители). Байкал. Геология. Человек. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2011. 239 с.
- Континентальные рифты. М.; Мир, 1981. 271 с.
- Логачев Н.А. К геологии базальтов Юго-Западного Прибайкалья // Материалы по изучению производительных сил Бурятской АССР. Вып. 2. Улан-Удэ, 1956. С. 111–130.
- Логачев Н.А. Саяно-Байкальское становое нагорье. Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. М.: Наука, 1974. С. 7–163.
- Повышев А.С. Окончательный сводный отчет по Тункинской опорной скважине №2-о. Часть 1. Иркутск, 1956. 127 с.
- Попова С.М., Мац В.Д., Черняева Г.П. и др. Палеолимнологические реконструкции: Байкальская рифтовая зона. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. 111 с.
- Рассказов С.В. Магматизм Байкальской рифтовой системы в сопоставлении с магматизмом рифтовой системы Рио Гранде. Препринт № 1. Иркутск: Институт земной коры СО АН СССР, 1990. 59 с.
- Рассказов С.В. Магматизм Байкальской рифтовой системы. Новосибирск: ВО "Наука". Сибирская издательская фирма, 1993. 288 с.
- Рассказов С.В. Введение в геологию Тункинской долины Байкальской рифтовой системы: лекция для будущих геологов // Геология и окружающая среда. 2025. Т. 5, № 2. С. 186–222. doi: 10.26516/2541-9641.2025.2.186.
- Рассказов С.В., Чувашова И.С. Первоначальное обоснование и последующее восприятие гипотез о строении и развитии Байкальской системы впадин // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 3. С. 105–148. DOI 10.26516/2541-9641.2023.3.105.
- Рассказов С.В., Саньков В.А., Ружич В.В., Смекалин О.П. Кайнозойский континентальный рифтогенез: Путеводитель геологической экскурсии в Тункинскую рифтовую долину // Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2010. 40 с.
- Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С., Михеева Е.А., Снопков С.В. Култукский вулкан: пространственно-временная смена магматических источников на западном окончании Южно-Байкальской впадины в интервале 18–12 млн лет назад // Геодинамика и тектонофизика. 2013. Т. 4, № 2. С. 135–168. doi: 10.5800/GT-2013-4-2-0095
- Рассказов С.В., Парфенов Д.И., Галсанов З.Б., Шарастепанов Б.Д., Папаев А.П., Снопков С.В., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С. Геохимическая оценка дифференциации в лавовых слоях и пространственной смены вулканических источников предголоценовой тефрит-трахибазальтовой серии в высоком горном хребте Большой Саян и Окинской впадине // Геология и окружающая среда. 2025а. Т. 5, № 4. С. 141–171. . doi: 10.26516/2541-9641.2025.4.141
- Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С., Папаев А.П., Снопков С.В., Парфенов Д.И., Иванов К.О., Полежаева И.В., Калинович М.Е. Геохимические характеристики лессов Тункинской долины и Окинской впадины, юг Восточной Сибири: сопоставление с геохимическими характеристиками лессов сопредельной Азии // Геология и окружающая среда. 2025б. Т. 5, № 1. С. 23–60. . doi: 10.26516/2541-9641.2025.1.23.
- Ружич В.В., Шерман С.И., Тарасович С.И. Новые данные о надвигах в юго-западной части Байкальской рифтовой зоны // Докл. АН СССР. 1972. Т. 205, № 4. С. 920–923.
- Сизых Ю.И. Общая схема химического анализа горных пород и минералов. Отчет. Институт земной коры СО АН СССР. Иркутск, 1985. 50 с.
- Хассан А., Рассказов С.В., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А., Титова Л.А., Кулагина Н.В., Усолецва М.В. Идентификация озерных отложений верхнего миоцена – нижнего плиоцена в суходольной Тункинской впадине Байкальской рифтовой зоны // Геодинамика и тектонофизика. 2020. Т. 11, № 2. С. 261–284. doi: 10.5800/GT-2020-11-2-0473
- Чувашова И.С., Алокла Р., Рассказов С.В. Инфильтрация глин в поры и каверны неогеновых базальтов Восточного Саяна // Геология и окружающая среда. 2021. Т. 1, № 1. С. 16–26.
- Шерман С.И., Леви К.Г. Трансформные разломы Байкальской рифтовой зоны и сейсмичность ее флангов // Тектоника и сейсмичность континентальных рифтовых зон. М.: Наука, 1978. С. 7–18.
- Шерман С.И., Медведев М.Е., Ружич В.В., Шмотов А.П. Тектоника и вулканизм юго-западной части Байкальской рифтовой зоны. М.: Наука, 1973. 136 с.
- Флоренсов Н.А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. Труды Вост.-Сиб. фил. СО АН СССР. Вып. 19. Серия геол. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 258 с.
- Флоренсов Н.А., Лоскутова Н.В. Новые данные о тункинских вулканах (Западное Прибайкалье). Изв. АН СССР, сер. геол. 1953. № 5. С. 96–104.
- Ashchepkov I., Tsygankov A., Burmakina G., Ntaflou T., Rasskazov S., Chuvashova I., Ailow Y. Geochemistry and petrology of crust and mantle xenoliths and xenocrysts in the Trans-Khamar-Daban Zone // Earth Systems, Resources, and Sustainability. 2026. Vol. 1, No. 2. P. 202–220. doi: 10.53941/esrs.2026.100013
- Chuvashova I., Rasskazov S., Sun Yi-min, Yang Chen Origin of melting anomalies in the Japan-Baikal corridor of Asia at the latest geodynamic stage: evolution from the mantle transition layer and generation by lithospheric transtension //

Geodynamics & Tectonophysics. 2017. Vol. 8, No. 3. P. 435–440. doi.org/10.5800/GT-2017-8-3-0256.

Kilinc A., Carmichael I.S.E., Rivers M.L., Sack R.O. The ferric–ferrous ratio of natural silicate liquids equilibrated in air // *Contrib. Miner. Petrol.* 1983. Vol. 83. P. 136–140.

Le Bas M.J. Nephelinitic and basanitic rocks // *J. Petrol.* 1989. Vol. 39, Part 5. P. 1299–1312.

Lipman P.W. Alkalic and tholeiitic basaltic volcanism related to the Rio-Grande depression, Southern Colorado and Northern New Mexico // *Bull. Geol. Soc. Am.* 1969. Vol. 80, No. 7. P. 1343–1354.

Rasskazov S., Chuvashova I., Yasnygina T., Saranina E., Gerasimov N., Ailow Y., Sun Y.-M. Tectonic generation of pseudotachylytes and volcanic rocks: Deep-seated magma sources of crust-mantle transition in the Baikal Rift System, Southern Siberia // *Minerals.* 2021. Vol. 11, No. 5, 487. doi: 10.3390/min11050487

## References

Alokla R., Chuvashova I.S., Rasskazov S.V., Akulova V.V., Rubtsova M.N., Budaev R.Ts. Loess-like rocks on the Khurai-Khobok volcanic cone in the Tunka basin // *Bulletin of Irkutsk State University. Earth Sciences Series.* 2022. Vol. 41. P. 3–20. doi: 10.26516/2073-3402.2022.41.3

Ashchepkov I.V., Travin A.V., Saprykin A.I., Andre L., Gerasimov P.A., Khmel'nikova O.S. Age of xenolith-bearing basalts and mantle evolution in the Baikal rift zone // *Russian Geology and Geophysics.* 2003. Vol. 44, No. 11. P. 1160–1188.

Ashchepkov I., Tsygankov A., Burmakina G., Ntaflou T., Rasskazov S., Chuvashova I., Ailow Y. Geochemistry and petrology of crust and mantle xenoliths and xenocrysts in the Trans-Khamar-Daban Zone // *Earth Systems, Resources, and Sustainability.* 2026. Vol. 1, No. 2. P. 202–220. doi: 10.53941/esrs.2026.100013

Belov I.V. Trachybasalt formation of the Baikal region. Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1963. 371 p.

Chuvashova I., Rasskazov S., Sun Yi-min, Yang Chen Origin of melting anomalies in the Japan-Baikal corridor of Asia at the latest geodynamic stage: evolution from the mantle transition layer and generation by lithospheric transtension // *Geodynamics & Tectonophysics.* 2017. Vol. 8, No. 3. P. 435–440. doi: 10.5800/GT-2017-8-3-0256.

Grachev A.F. Khamar-Daban: a hot spot of the Baikal rift // *Physics of the Earth.* 1998. No. 3. P. 3–28.

Grudin M.I., Chuvashova I.S. (compilers). Baikal. Geology. Human being. Irkutsk: Publishing house of Irkutsk State University, 2011. 239 p.

Chuvashova I.S., Alokla R., Rasskazov S.V. Infiltration of clay into pores and cavities of Neogene basalts from Eastern Sayans // *Geology and*

*Environment.* 2021. Vol. 1, No. 1. P. 16–26. doi.org/10.26516/2541-9641.2021.1.16]

Continental rifts. Moscow; Mir, 1981. 271 p.

Florensov N.A. Mesozoic and Cenozoic basins of the Baikal region. Proceedings of the East Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. Issue 19. Geological Series. Moscow-Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1960. 258 p.

Florensov N.A., Loskutova N.V. New data on the Tunka volcanoes (Western Baikal region). *Izvestiya AN SSSR, geol. series.* 1953. No. 5. P. 96–104.

Hassan A., Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Yasnygina T.A., Titova L.A., Kulagina N.V., Usoltseva M.V. Identifying Upper Miocene – Lower Pliocene lacustrine sediments in dry Tunka basin of the Baikal rift zone // *Geodynamics & Tectonophysics.* 2020. Vol. 11, No. 2. P. 262–284. doi:10.5800/GT-2020-11-2-0473

Kilinc A., Carmichael I.S.E., Rivers M.L., Sack R.O. The ferric–ferrous ratio of natural silicate liquids equilibrated in air // *Contrib. Miner. Petrol.* 1983. Vol. 83. P. 136–140.

Le Bas M.J. Nephelinitic and basanitic rocks // *J. Petrol.* 1989. Vol. 39, Part 5. P. 1299–1312.

Lipman P.W. Alkalic and tholeiitic basaltic volcanism related to the Rio-Grande depression, Southern Colorado and Northern New Mexico // *Bull. Geol. Soc. Am.* 1969. Vol. 80, No. 7. P. 1343–1354.

Logatchev N.A. On the Geology of basalts in the southwestern Baikal region // *Materials for the study of the productive forces of the Buryat ASSR.* Issue 2. Ulan-Ude, 1956. P. 111–130.

Logatchev N.A. The Sayan-Baikal Stanovoe Upland. The Uplands of the Baikal and Transbaikalian regions. Moscow: Nauka, 1974. P. 7–163.

Povyshchev A.S. Final summary report on the Tunka reference borehole No. 2-O. Part 1. Irkutsk, 1956. 127 p.

Popova S.M., Mats V.D., Chernyaeva G.P. et al. Paleolimnological reconstructions: Baikal Rift Zone. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch, 1989. 111 p.

Rasskazov S.V. Magmatism of the Baikal Rift System in comparison with magmatism of the Rio Grande Rift System. Preprint No. 1. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1990. 59 p.

Rasskazov S.V. Magmatism of the Baikal rift system. Novosibirsk: Nauka Siberian Publishing Company, 1993. 288 pp.

Rasskazov S.V. Introduction to the geology of the Tunka Valley of the Baikal rift system: lecture for geologists to be // *Geology and Environment.* 2025. Vol. 5, No. 2. P. 186–222. doi: 10.26516/2541-9641.2025.2.186.]

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Initial substantiation and subsequent perception of hypotheses on the structure and development of the Baikal system of basins // *Geology and Environment.* 2023. Vol. 3,

No. 3. P. 105–148. DOI 10.26516/2541-9641.2023.3.105.

Rasskazov S., Chuvashova I., Yasnygina T., Saranina E., Gerasimov N., Ailow Y., Sun Y.-M. Tectonic generation of pseudotachylytes and volcanic rocks: Deep-seated magma sources of crust-mantle transition in the Baikal Rift System, Southern Siberia // *Minerals*. 2021. Vol. 11, No 5, 487. doi: 10.3390/min11050487

Rasskazov S.V., Parfenov D.I., Galsanov Z.B., Sharastepanov B.D., Papaev A.P., Snopkov S.V., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S. Geochemical assessment of differentiation in lava layers and spatial change in volcanic sources for preHolocene tephrite-trachybasalt series in the High Great Sayan Range and Oka Basin // *Geology and Environment*. 2025a. Vol. 5, No. 4. P. 141–171. doi: 10.26516/2541-9641.2025.4.141.]

Rasskazov S.V., Sankov V.A., Ruzhich V.V., Smekalin O.P. Cenozoic continental rifting: A guide to a geological excursion to the Tunka Rift Valley // Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2010. 40 p.

Rasskazov S.V., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S., Mikheeva E.A., Snopkov S.V. Kultuk Volcano: Spatio-temporal Change of Magmatic Sources at the Western Termination of the South Baikal Basin in the Interval of 18–12 Ma // *Geodynamics and Tectonophysics*. 2013. Vol. 4, No. 2. P. 135–168. doi: 10.5800/GT-2013-4-2-0095

**Рассказов Сергей Васильевич,**

доктор геолого-минералогических наук, профессор,  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,  
Институт земной коры СО РАН,  
заведующий лабораторией изотопии и геохронологии,  
664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,  
Иркутский государственный университет, геологический факультет,  
заведующий кафедрой динамической геологии,  
тел.: (3952) 51–16–59,  
email: rassk@crust.irk.ru

**Rasskazov Sergei Vasilevich,**

doctor of geological and mineralogical sciences, professor,  
664033, Irkutsk, st. Lermontova, 128,  
Institute of the Earth's Crust SB RAS,  
Head of the Laboratory for Isotopic and Geochronological Studies,  
664025, Irkutsk, Lenin st., 3,  
Irkutsk State University, Faculty of Geology,  
Head of Dynamic Geology Char,  
tel.: (3952) 51–16–59,  
email: rassk@crust.irk.ru

**Чувашова Ирина Сергеевна,**

кандидат геолого-минералогических наук,  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,  
Институт земной коры СО РАН,

Rasskazov S.V., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S., Papaev A.P., Snopkov S.V., Parfenov D.I., Ivanov K.O., Polezhaeva I.V., Kalinovich M.E. Geochemical signatures of loesses from the Tunka Valley and Oka Basin, Southern of Eastern Siberia: Comparison with geochemical signatures of loesses from adjacent Asia // *Geology and Environment*. 2025b. Vol. 5, No. 1. P. 23–60. Doi 10.26516/2541-9641.2025.1.23. doi: 10.5800/GT-2013-4-2-0095

Ruzhich V.V., Sherman S.I., Tarasovich S.I. New data on thrust faults in the southwestern part of the Baikal rift zone // *Doklady of the USSR Academy of Sciences*. 1972. Vol. 205, No. 4. P. 920–923.

Sherman S.I., Levi K.G. Transform faults of the Baikal rift zone and seismicity of its flanks. In: *Tectonics and seismicity of continental rift zones*. Nauka, Moscow, 1978. 7–18.

Sherman S.I., Medvedev M.E., Ruzhich V.V., Shmotov A.P. Tectonics and volcanism of the southwestern part of the Baikal rift zone. Moscow: Nauka, 1973. 136 p.

Sizykh Yu.I. General scheme of chemical analysis of rocks and minerals. Open file report. Institute of the Earth's Crust SB USSR Academy of Sciences. Irkutsk, 1985. 50 p.

Volyanyuk N.Ya., Semenova V.G. On the finding of aluminous ultramafic inclusions in basalts of the Baikal rift zone. *Doklady of the USSR Academy of Sciences*. 1975. Vol. 222, No. 5. P. 1186–1189.

старший научный сотрудник,  
664003, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,  
Иркутский государственный университет, геологический факультет,  
доцент кафедры динамической геологии,  
email: chuvashova@crust.irk.ru  
**Chuvashova Irina Sergeevna,**  
candidate of geological and mineralogical sciences,  
664033, Irkutsk, st. Lermontova, 128,  
Institute of the Earth's Crust SB RAS,  
Senior Researcher,  
664025, Irkutsk, st. Lenina, 3,  
Irkutsk State University, Faculty of Geology,  
Associate Professor of Dynamic Geology Char,  
email: chuvashova@crust.irk.ru

**Ясныгина Татьяна Александровна,**

кандидат геолого-минералогических наук,  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,  
Институт земной коры СО РАН,  
старший научный сотрудник,  
email: ty@crust.irk.ru

**Yasnygina Tatyana Alexandrovna,**

candidate of geological and mineralogical sciences,  
664033, Irkutsk, st. Lermontova, 128,  
Institute of the Earth's Crust SB RAS,  
Senior Researcher,  
email: ty@crust.irk.ru

**Виницина Кристина Александровна,**

664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,  
Иркутский государственный университет, геологический факультет,  
студент второго курса магистерской подготовки, заочное отделение,  
email: kristya2651@yandex.ru

**Vinitsina Kristina Alexandrovna,**  
664025, Irkutsk, st. Lenina, 3,  
Irkutsk State University, Faculty of Geology,  
second year student of master's degree program, correspondence department,  
email: kristya2651@yandex.ru

**Будаев Баяр Буянтаевич,**  
664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,  
Иркутский государственный университет, геологический факультет,  
студент второго курса магистерской подготовки, заочное отделение,  
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская 1,  
Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, аспирант,  
email: bevabear7@gmail.com

**Budaev Bayar Buyantaevich,**  
664025, Irkutsk, st. Lenina, 3,  
Irkutsk State University, Faculty of Geology,  
second year student of master's degree program, correspondence department,  
664033, Irkutsk, st. Ulaanbaatar 1,  
V.V. Sochava Institute of Geography SB RAS,  
graduate student,  
email: bevabear7@gmail.com

**Цыренов Олег Жаргалович,**  
664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,  
Иркутский государственный университет, геологический факультет,  
студент второго курса магистерской подготовки, заочное отделение,  
email: olegcyrenov@gmail.com

**Tsyrenov Oleg Zhargalovich,**  
664025, Irkutsk, st. Lenina, 3,  
Irkutsk State University, Faculty of Geology,  
second year student of master's degree program, correspondence department,

email: olegcyrenov@gmail.com

**Замбалов Александр Петрович,**  
664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,  
Иркутский государственный университет, геологический факультет,  
студент второго курса магистерской подготовки, заочное отделение,  
email: zambalov1997@gmail.com  
**Zambalov Alexander Petrovich,**  
664025, Irkutsk, st. Lenina, 3,  
Irkutsk State University, Faculty of Geology,  
second year student of master's degree program, correspondence department,  
email: zambalov1997@gmail.com

**Кононов Владислав Юрьевич,**  
664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,  
Иркутский государственный университет, геологический факультет,  
студент второго курса магистерской подготовки, заочное отделение,  
email: ddoskononov@yandex.ru  
**Kononov Vladislav Yurievich,**  
664025, Irkutsk, st. Lenina, 3,  
Irkutsk State University, Faculty of Geology,  
second year student of master's degree program, correspondence department,  
email: ddoskononov@yandex.ru

**Антипин Роман Вячеславович,**  
664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,  
Иркутский государственный университет, геологический факультет,  
студент второго курса магистерской подготовки, заочное отделение,  
email: Antipin\_roman@mail.ru  
**Antipin Roman Vyacheslavovich,**  
664025, Irkutsk, st. Lenina, 3,  
Irkutsk State University, Faculty of Geology,  
second year student of master's degree program, correspondence department,  
email: Antipin\_roman@mail.ru

УДК 551.71+ 54.027

<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2026.1.115>

EDN: GVXFCU

## Глобальная и региональная (сибирская) переработка литосферы 2.7 млрд лет назад: изотопные данные

С.В. Рассказов<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия<sup>2</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

**Аннотация.** Выполнен обзор радиоизотопных данных, свидетельствующий о существенной переработке литосферы около 2.7 млрд лет назад в глобальном и региональном (сибирском) масштабах. В это время начинается средняя геодинамическая эпоха эволюции мантии Азии, завершающаяся около 1.8 млрд лет назад. Средняя мантийная геодинамическая эпоха обозначает становление литосферы, получившей выражение в виде крупных континентальных обособлений Сибирского и других палеоконтинентов.

**Ключевые слова:** эволюция Земли, средний геодинамический этап, изотопные системы U/Pb, Sm/Nd, Re/Os

## Global and Regional (Siberian) Processing of the Lithosphere 2.7 Byr ago: Isotopic Evidence

S.V. Rasskazov<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia<sup>2</sup>Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

**Abstract.** A review of radiogenic isotope data indicates significant processing of the lithosphere ca. 2.7 Byr ago on a global and regional (Siberian) scales. This time marks the beginning of the middle geodynamic epoch of Asian mantle evolution that ends ca. 1.8 Byr ago. The middle mantle geodynamic epoch corresponds to the lithosphere generation that resulted in large continental segregations of the Siberian and other paleocontinents.

**Keywords:** Earth's evolution, middle geodynamic stage, U/Pb, Sm/Nd, Re/Os isotope systems

### Введение

В истории Земли неоднократно имели место поворотные рубежи в ее эволюции. Например, в середине мела магматизм широко проявился на всей Земле. Огромные масштабы вулканизма, сопоставимого с проявлениями траптов крупных магматических провинций породили гипотезу о связи глобальной среднемеловой вспышки

магматизма с глубинной активностью суперплюма (Larson, 1991). Аномально-горячее состояние нижней мантии моделировалось нарушением термального граничного слоя 660 км лавинным погружением слэбов, вызывавшим обратный поток с его проявлением на земной поверхности около 125 млн лет назад и повторным проявлением – около 60 млн лет назад (Machetel, Humpler, 2003).

Статья получена: 05.03.2026; исправлена: 14.03.2026; принята: 27.03.2026.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Рассказов С.В. Глобальная и региональная (сибирская) переработка литосферы 2.7 млрд лет назад: изотопные данные // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 1. С. 115–125. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.115. EDN: GVXFCU

Article received: 05.03.2026; corrected: 14.03.2026; accepted: 27.03.2026.

FOR CITATION: Rasskazov S.V. Global and regional (Siberian) processing of the lithosphere 2.7 vyr ago: isotopic evidence // Geology and Environment. 2026. Vol. 6, No. 1. P. 115–125. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.115. EDN: GVXFCU

Аномальное состояние Земли в общем предшествовало и сопровождало начало новейшего геодинамического этапа, отчетливо проявившегося на территории Азии в последние 90 млн лет (Чувашова, Рассказов, 2025).

Реконструкции подобных процессов на более ранних этапах эволюции Земли затруднены из-за фрагментарности геологических данных во времени и пространстве. Тем не менее, выявляются некоторые закономерности, которые интерпретируются в контексте изменений в становлении литосферы. На рубеже архея-протерозоя имеет место фундаментальная смена мелкозернистых терригенных осадочных пород с резким возрастанием отношения Th/Sc, обусловленным увеличением концентрации Th и уменьшением концентрации Sc. Th является высоко несовместимым, а Sc – совместимым микроэлементом, поэтому возрастание отношения Th/Sc отражает переход от коры основного состава к коре среднего и кислого состава (Taylor, McLennan, 1985; Rudnick, 2017). Между тем, континентальная кора начинает генерироваться по ювенильному механизму несколько раньше. Существенная перестройка глубинных процессов Земли намечается по изменениям в Sm–Nd-изотопной системе около 2.7 млрд лет назад (Hofmann, 1997). Какая-либо иллюстрация значения этой перестройки в цитированной статье, однако, отсутствует.

В настоящей работе приводится обоснование глобального характера переработки литосферы на рубеже около 2.7 млрд лет назад. Цель исследования – подчеркнуть значение этого события в геологической эволюции Сибири.

### Глобальное событие 2.7 млрд лет в U–Pb-изотопной систематике урановых минералов

Урановые минералы близкого возраста образования из архейских щитов пяти континентов аппроксимируются линией дискордии с верхней точкой пересечения около 2.7 млрд лет (рис. 1). Автор этого обобщения (Tilton, 1960) предположил, что урановые минералы подвергались непрерывной диффузионной потере свинца в течение геологического времени, которая на большей части своей длины похожа на прямую линию, изгибаясь вниз к точке пересечения в начале координат в случаях сильной поздней потери свинца. В качестве исходного материала для кристаллизации урановых минералов служил коровый протолит континентов возрастом 2.7 млрд лет. Следовательно, около 2.7 млрд лет

должно было произойти событие, которое привело к замыканию U–Pb изотопной системы урановых минералов в глобальном масштабе.

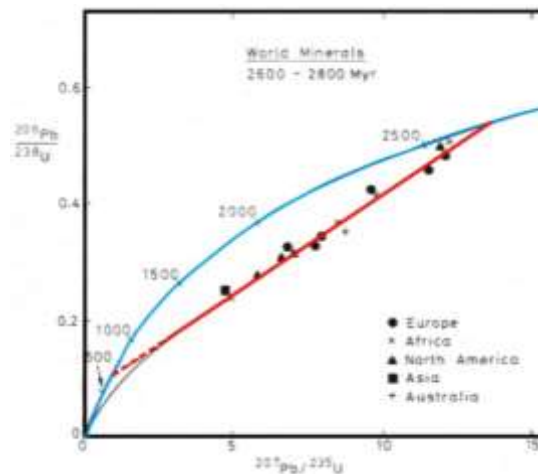


Рис. 1. Диаграмма архейских урановых минералов пяти континентов с общей дискордией (Tilton, 1960).

Fig. 1. Diagram of Archean U-rich minerals of the five continents with general discordia (Tilton, 1960).

Диффузионная модель глобальных потерь Pb в урановых минералах (Tilton, 1960) отличается от диффузионной дискордии Вассербурга, которая характеризует отторжение обыкновенного Pb от U при кристаллизации рудных минералов, таких как галенит (Rasskazov et al., 2010). В сульфиде определяется начальное изотопное отношение Pb для изохроны U-содержащих вулканических пород (риолитов) 2.69 млрд лет на месторождении Норанда (Квабек) (рис. 2).

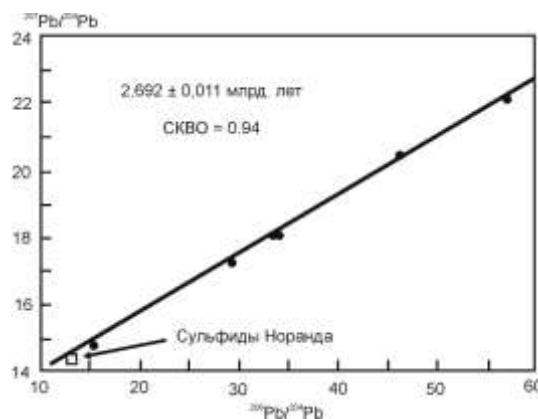


Рис. 2. Pb–Pb изохрона вулканических пород, вмещающих Cu–Zn сульфидное месторождение Норанда (Квабек). Из работы (White, 2000).

**Fig. 2.** Pb–Pb isochron of volcanic rocks hosting the Noranda (Quabec) Cu–Zn sulfide deposit. From (White, 2000).

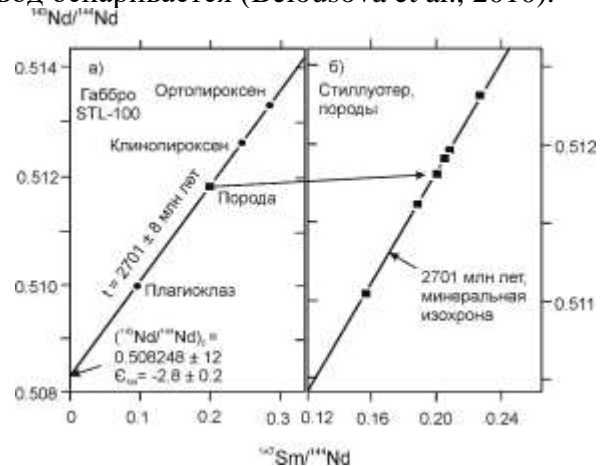
**Глобальное событие 2.7 млрд лет в изотопах пород коры и мантии**

О генерации коры по ювенильному механизму свидетельствуют результаты исследований изотопов урана, свинца, гафния и кислорода в цирконах из пород фундамента южной части Западной Гренландии. Породы возрастом 3.9–3.5 млрд лет эволюционируют из источника–резервуара возрастом 3.9 млрд лет с хондритовым или слегка обедненным изотопным составом гафния. Породы, образовавшиеся после 3.2 млрд лет назад, впервые демонстрируют приток ювенильного обедненного материала (новой коры мантийного происхождения) и характеризуются резкими изменениями в соотношении изотопов гафния, аналогичными тем, которые наблюдаются в фанерозойских орогенах, связанных с субдукцией. Переход от древнего (3.9–3.5 млрд лет назад) режима эволюции коры, непохожего на современную тектонику плит, к геодинамической обстановке после 3.2 млрд лет назад, включавшей образование ювенильной коры процессами тектоники плит, устанавливается во временном интервале 3.5–3.2 млрд лет назад (Næraa et al., 2012).

События возрастом около 2.7 млрд лет назад широко представлены на разных континентах. Коматииты этого возраста, подобные по геохимическим характеристикам более древним коматиитам, обедненным глиноземом (возраст 3.5 млрд лет), известны в Нью-тонском и Бостонском районах и районе Онтарио в Канаде. Эти коматииты характеризуются более высокими отношениями  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Gd}/\text{Yb}$  и более низким содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , чем большинство коматиитов типа Мунро (Herzberg, 1995). Около 2.7 млрд лет назад сформировались основные зеленокаменные пояса восточной части кратона Дхарвар, Индия (Anand, Balakrishnan, 2010). В провинции Супериор Канады известны адакитоподобные породы этого же возраста (Pollat, Kerrich, 2001). В это время образовался расслоенный комплекс Стиллиуотер (рис. 3).

По U–Pb датировкам цирконов магматических пород добавление ювенильной коры (а также магматическая активность в целом) в глобальном масштабе в интервале 2.45–2.2 млрд лет принимается как незначительное (Condie et al., 2009). При интерпретации U–Pb

и Hf-модельных датировок цирконов этот вывод оспаривается (Belousova et al., 2010).



**Рис. 3.** Sm–Nd-изохронная диаграмма для пород и минералов из расслоенного базитового комплекса Стиллиуотер. *a* – внутренняя минеральная изохрона для габбро, *b* – внешняя изохрона для валовых составов пород. Из книги (Geyh, Schleicher, 1990).

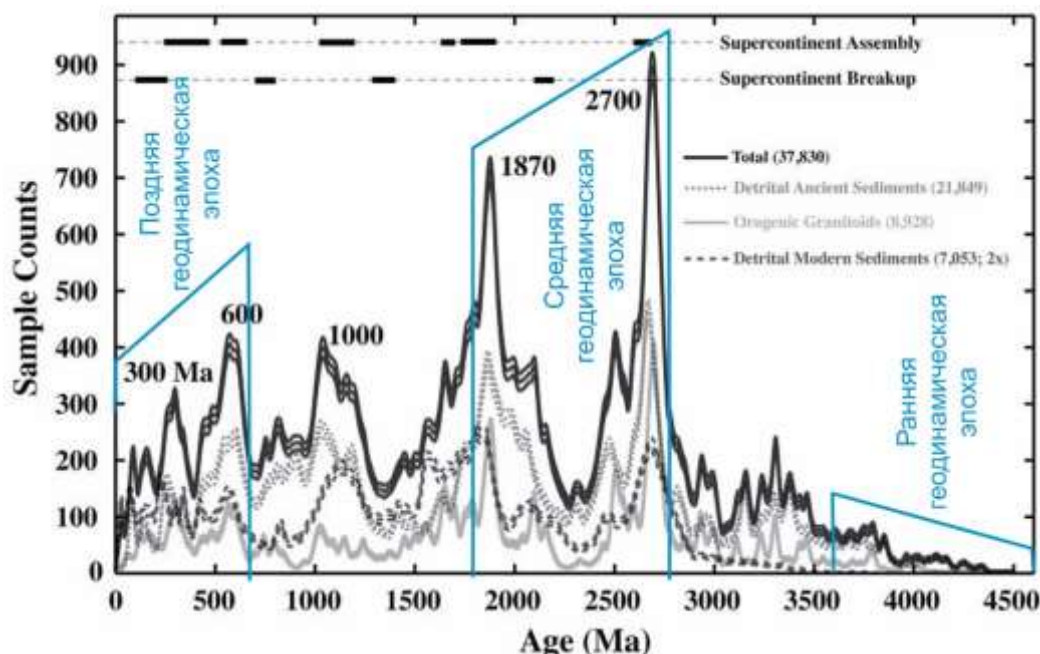
**Fig. 3.** Sm–Nd isochron diagram for rocks and minerals from the Stillwater layered mafic complex. *a* – internal mineral isochron for gabbro, *b* – external isochron for bulk rock compositions. From (Geyh, Schleicher, 1990).

Статистический анализ  $^{187}\text{Re}$ – $^{187}\text{Os}$  данных по породам верхней мантии дает максимумы ее истощения около 2.7, 1.9 и 1.2 млрд лет назад. Эти мантийные максимумы совпадают с максимумами образования континентальной коры и, таким образом, могут свидетельствовать о сопряженной, глобальной импульсной дифференциации мантийных и коровых процессов – росте континентальной коры посредством крупномасштабных событий плавления мантии (Pearson et al., 2007). Большинство перидотитовых ксенолитов из кимберлитов южной части западно-гренландского фрагмента Североатлантического кратона с модельными Re–Os-датировками обеднения  $T_{\text{RD}}$  от 3.1 до 2.7 млрд лет и 2.0 млрд лет имеют нормальное содержание FeO, что связывается с плавлением неглубокой мантии. Значительная часть перидотитовых ксенолитов с модельными датировками  $T_{\text{RD}}$  2.3–2.6 млрд лет (которые не совпадают с конкретными магматическими событиями) обогащена FeO. В это время получил развитие метаморфизм гранулитовой фации. Предполагается, что мантийные ксенолиты территории отражают стабилизацию литосферы на мезо-неоархейской границе, за которой последовала ее избирательное преобразование (Wittig et al., 2010).

Глобальные временные связи между кратонной мантией и вышележащей земной корой исследовались при сопоставлении U/Pb-датировок детритовых цирконов из современных речных отложений и Re–Os  $T_{RD}$ -датировок перидотитов, мегакристаллов оливина и сульфидных включений из кратонов: Каапваальского, Слэйв и Североатлантического. Для  $T_{RD}$ -датировок мантийных пород кратонов определены максимумы: 2.7 млрд лет для кратона Каапвааль, 2.6 и 1.9 млрд лет – для Североатлантического кратона и 2.8, 1.8 и 1.4 млрд лет – для кратона Слэйв. Возрастные максимумы, выявленные в кратонной мантии, совпали с двумя максимумами глобальных U/Pb датировок детритовых цирконов 2.7 и 1.9 млрд лет. Совпадение возраста  $2.7 \pm 0.1$  млрд лет мантии и коры интерпретировалось как свидетельство образования кратонной мантии в целом одновременно с кратонной корой, первоначально сформировавшейся в архее.

В интервале 2.7–2.2 млрд лет и близко к нему имеются оценки возраста протолитов в источниках позднефанерозойских вулканических пород Азии: Лндзю Северо-Восточного Китая (2.57 млрд лет), Чангбай этой же

территории (2.93 и 2.72 млрд лет), Чеунгок Южной Кореи (2.85 млрд лет), Южный Тибет (2.81 млрд лет), рифт Тапи на плато Декан (2.76 млрд лет) (Rasskazov et al., 2020). Ранняя мантийная геодинамическая эпоха Азии (Rasskazov et al., 2020) соответствует временному интервалу от образования Земли до 3.6 млрд лет назад, в течение которого в осадочных породах последовательно возрастала роль датированных детритовых цирконов (Condie, Aster, 2009). В эту эпоху суперконтиненты не образуются. Средняя мантийная геодинамическая эпоха Азии, охватывающая временной интервал от 2.9 до 1.8 млрд лет назад (Rasskazov et al., 2020), согласуется с наиболее высокими пиками датированных цирконов, в том числе из орогенных гранитоидов. Суперконтиненты образуются в начале и в конце этой геодинамической эпохи, а в середине суперконтиненты распадаются (Condie, Aster, 2009). Поздняя геодинамическая эпоха последних 700 млн лет (Rasskazov et al., 2020) в целом характеризуется снижением роли датированных цирконов. В это время суперконтиненты сначала собираются, а затем распадаются (Condie, Aster, 2009) (рис. 4).



**Рис. 4.** Сопоставление возраста циркона по изотопам урана/свинца в орогенных гранитоидах и наборах данных по детритовому циркону за последние 4.5 миллиарда лет (Condie et al., 2009) с мантийными геодинамическими эпохами Азии (Rasskazov et al., 2020).

**Fig. 4.** Comparison of uranium/lead isotope ages of zircon in orogenic granitoids and detrital zircon datasets over the past 4.5 Byr (Condie et al., 2009) with mantle geodynamic epochs of Asia (Rasskazov et al., 2020).

Фигуративные точки третичных вулканических пород поля Абсарака и четвертичных

пород Йеллоустоунского вулканического плато Северной Америки располагаются на

диаграмме  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  вдоль вторичной изохроны, определяющей возраст пород источника около 2.8 млрд лет. Этот возраст соответствует возрасту пород фундамента кратона Вайоминг (Lipman, 1980). Породы плато Колорадо и вулканического поля Сан Хуан на диаграмме изотопов свинца дают вторичную изохрону с наклоном, соответствующим возрасту фундамента плато Колорадо 2.3 млрд лет (Alibert et al., 1986).

### **Событие 2.7 млрд лет назад и последующее становление литосферы Сибири**

Подобно Западной Гренландии эволюция КМП и мантии кратона Вайоминг может служить для возрастных корреляций с процессами становления КМП и подстилающей мантии под Слюдянским метаморфическим субтеррейном. В Тункинской долине слои КМП и подстилающей мантии служат автохтоном для перекрывающего слоя аллохтона слюдянского кристаллического комплекса с раннепалеозойским возрастом синколлизонного метаморфизма. Аллохтон обнажен на поверхности, автохтон опробуется в источниках излившихся расплавов и в глубинных включениях. По результатам геохимических исследований протолитов источников позднекайнозойских вулканических пород и древних субвулканических тел основного-среднего состава в эволюции тектоносферы Гарганской зоны выявляются события ранней, средней и поздней геодинамических эпох эволюции Земли (Чувашова и др., 2022; Рассказов и др., 2022, 2024):

1) в раннюю геодинамическую эпоху тектоносфера Гарганской зоны генерировалась импактными телами в последовательности сверху вниз: сначала, 4.31 млрд лет назад, – во внешней оболочке Земли, затем, 3.85 млрд лет назад, – в области коромантийного перехода, и, наконец, 3.72 млрд лет назад, – в области литосферной мантии;

2) в среднюю геодинамическую эпоху рудогенерирующие процессы развивались во внешней оболочке Земли в связи с событием Великого окисления 2.4–2.2 млрд лет назад;

3) в позднюю геодинамическую эпоху проявились процессы тектонической и магматической активизации тектоносферы Гарганской зоны в связи с ее интеграцией в

фундамент Тувино-Монгольского микроконтинента, начиная приблизительно с 1 млрд лет назад или несколько раньше.

Гарганские события ранней геодинамической эпохи 4.31, 3.85 и 3.72 млрд лет назад не отражаются в протолитах источников кайнозойских вулканических пород Тункинской долины, но отчетливо проявляются события средней и поздней геодинамических эпох.

Основание метаморфического комплекса Гарганского блока, сложенное тоналитами и трондьемитами, амфиболитами и ультраметаморфическими гранитоидами, характеризуется интервалом датировок 2.71–2.61 млрд лет (Левицкий и др., 2014). Гарганская зона проявляет геологическую индивидуальность в изотопном составе обыкновенного свинца галенита из рудных месторождений. Галенит содержит свинец В-типа (Barberton). По сопряженной модели накопления радиогенных изотопов Рb Холмса–Хаутерманса и диффузионной дискордии Вассербурга для протолита коры Гарганской зоны по галениту рассчитывается возраст  $T$  около 4.31 млрд лет при значении  $\mu = 11$  и возраст отторжения  $t$  в основном в интервале 2.4–2.2 млрд лет (Rasskazov et al., 2010). Этот временной интервал основного рудообразования в Гарганском блоке соответствует развитию процессов метасоматического преобразования пород КМП и подстилающей мантии в источниках, вовлеченных в плавление под районом Тункинской впадины (возраст 4.44 млрд лет) и под вулканами Метео и Култукским (возраст около 2.3–2.2 млрд лет). Генетическая связь рудообразующих процессов Гарганского блока и метасоматических процессов в породах слоя КМП подтверждается находками в ксенолитах метасоматитов из трахибазальтов Карьерного вулкана Fe–Si включений, подобных железистым кварцитам (BIF) Великого Окислительного События 2.45–2.2 млрд лет назад (Аило и др., 2021).

Приблизительно одновременно с основанием Гарганского блока формируется метаморфический комплекс Бирюсинского блока в Восточном Саяне, который прорван гранитоидами с модельным  $T(\text{DM})$  возрастом 2.7–2.6 млрд лет (Туркина и др., 2003).

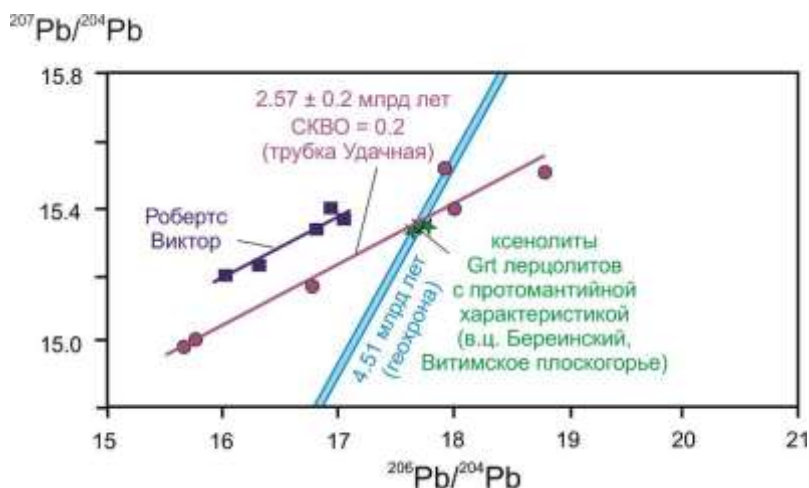
Коровые протолиты Западного Забайкалья характеризуются интервалом Sm–Nd модельных датировок 2.6–0.6 млрд лет (Ярмолюк и

др., 1999). Следовательно, генерация гранитоидов ограничивается рубежом около 2.7 млрд лет назад. Гранитоидный магматизм возобновляется в течение всего временного интервала, обозначенного в протолитах источников вулканических пород Тункинской долины.

От 2.7 млрд лет назад к интервалам 2.4–2.2 и 1.6–0.66 млрд лет назад характер КМП и нижележащей мантии меняется. В позднем архее, 2.7 млрд лет назад, глубинные литосферные породы демонстрируют обогащенные характеристики: повышенные концентрации легких РЗЭ относительно тяжелых РЗЭ в ксенолитах и клинопироксенах и смещение точек данных по ксенолитам выше мантийного направления на диаграмме Th/Yb–Ta/Yb. После 2.7 млрд лет назад глубинные литосферные породы показывают относительно обогащенные и обедненные характеристики, которые обозначаются вторичными изохронами, простирающимися на диаграмме  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  –  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  в области не только более радиогенных изотопных составов свинца (относительно общего компонента), но и менее радиогенных составов. В это время периодически создаются условия для извлечения низкоплавкого материала из мантии, который формирует кору в рамках орогенного сценария. Последнее событие этого сценария имело место около 0.66 млрд лет назад. За этим следуют многочисленные магматические активизации, сопровождающиеся переработкой ранее сформировавшихся коровых протолитов. Примером такой эволюции является последовательность источников гранитоидной магмы в юго-восточной части

Восточных Саян в период от 512 до 261 миллионов лет назад (Рассказов и др., 2013).

На Сибирском палеоконтиненте в рассматриваемом временном интервале сначала была определена изохронная Re–Os-изотопная датировка  $2.9 \pm 0.4$  млрд лет для валовых составов эклогитов из трубки Удачная (Якутия). Повышенное начальное изотопное отношение осмия изохроны отразило предысторию корового материала до его включения в литосферную мантию (Pearson et al., 1995). Этот возраст в пределах погрешности определений сопоставляется с Pb–Pb-изохронным возрастом  $2.57 \pm 0.2$  млрд лет, полученным по монофракциям клинопироксена из эклогитов этой же кимберлитовой трубки (Jacob, Foley, 1999). Близкие Pb-изохронные датировки определяются по клинопироксенам ксенолитов из кимберлитовой трубки Робертс Виктор (Южная Африка). Составы клинопироксенов из протомантийных гранатовых лерцолитов Берейнского вулканического центра лежат на тренде клинопироксенов эклогитов из трубки Удачная, тогда как точки клинопироксенов из ксенолитов трубки Робертс Виктор смещаются выше этого тренда (рис. 5). Клинопироксены, включенные в алмазы эклогитов трубки Удачная, имеют спектры РЗЭ, слабо обедненные легкими членами ряда, либо спектры без признаков обеднения, частично с положительной Eu-аномалией. Концентрация  $\text{TiO}_2$  в этих клинопироксенах находится в интервале от 0.3 до 0.9 мас. % (0.18–0.54 мас. % Ti), а в клинопироксенах других эклогитов концентрация  $\text{TiO}_2$  снижается до 0.1 мас. % (0.06 мас.% Ti) (Taylor, Anand, 2004).



**Рис. 5.** Диаграмма  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  клинопироксенов эклогитовых ксенолитов из кимберлита трубки Удачная в сопоставлении с клинопироксенами ксенолитов из кимберлитовой трубки Робертс Виктор. Линия регрессии проходит вблизи точек клинопироксенов, выделенных из эклогитов кимберлитовой трубки Удачная, которые определяют Pb–Pb изохронный возраст  $2.57 \pm 0.2$  млрд лет (Jacob, Foley, 1999). Состав изотопов Pb ксенолитов из пород Береинского вулканического центра (в.ц.) приводится по данным (Глебовицкий и др., 2007).

**Fig. 5.**  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  versus  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  isotope compositions of eclogite xenolith clinopyroxenes from the Udachnaya kimberlite pipe in comparison with those from the Roberts Victor kimberlite pipe. The regression line passes close to those of clinopyroxene separates from eclogites of the Udachnaya kimberlite pipe that define a Pb–Pb isochron age of  $2.57 \pm 0.2$  Ga (Jacob, Foley, 1999). The Pb isotope composition of xenoliths from rocks of the Bereya volcanic center is plotted after (Glebovitsky et al., 2007).

Предполагалось, что кратон под трубкой Удачная может быть в целом моложе других кратонов (Doucet et al., 2015). Группа обогащенных кальцием (2.0–3.2 мас.% CaO) перидотитовых ксенолитов из трубки Обнаженная кратонной литосферы Сибирского палеоконтинента дала, однако, сравнительно древние модельные Re–Os датировки ( $T_{\text{RD}}$  в среднем 2.8 млрд лет). Перидотиты с  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от низкого до умеренного (<2 %) и высоким магнезиальным числом ( $\text{Mg}\# \geq 0.91$ ), в том числе гарцбургиты с низким содержанием Ca, показали более низкие модельные Re–Os датировки ( $T_{\text{RD}}$  в среднем 1.9 млрд лет), что интерпретировалось как показатель двухэтапного формирования сибирской литосферной мантии (Ionov et al., 2015). Таким образом, предположение о более молодом возрасте Сибирского кратона не подтвердилось. Для кратонной мантии Сибирского палеоконтинента позднеархейская Re–Os возрастная оценка обеднения согласуется с подобными процессами под другими кратонами мира.

Под трубкой Удачная были выявлены также архейские породы верхней и средней частей коры с возрастом около 2.7 млрд лет, определенным по цирконам из ксенолитов с  $\text{H}_2\text{O}$ -содержащими минералами (амфиболитов и роговообманковых тоналитов) (Moyn et al., 2017). Протолит источника магнезиальных траппов Гудчихи на севере Сибирской трапповой провинции имеет Pb–Pb возраст 2.61 млрд лет (Rasskazov et al., 2020).

### Заключение

Выполненный обзор радиоизотопных данных свидетельствует о существенной переработке литосферы около 2.7 млрд лет назад, имеющей значение в глобальном и региональном (сибирском) масштабах. В это время

начинается средний геодинамический этап эволюции мантии Азии, завершающийся около 1.8 млрд лет назад (Rasskazov et al., 2020). Средний мантийный геодинамический этап обозначает становление литосферы, получившее выражение в виде крупных континентальных обособлений, в том числе Сибирского палеоконтинента.

### Благодарности

Событие существенной переработки литосферы Земли 2.7 млрд лет назад рассматривается в рамках разработки учебного курса магистратуры геологического факультета ИГУ «Современные проблемы геологии».

### Литература

Аило Ю., Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С. Находка Fe–Si включений в глубинных нодулях из трахибазальтов вулкана Карьерный (Тункинская долина Байкальской рифтовой системы) и ее значение для понимания происхождения железистых кварцитов события Великого Окисления // XIII Всероссийское петрографическое совещание (с участием зарубежных ученых) «Петрология и геодинамика геологических процессов». 06–13 сентября. Иркутск: ИГХ СО РАН и ИЗК СО РАН, 2021. С. 18–23.

Глебовицкий В.А., Никитина Л.П., Салтыкова А.К., Пушкарев Ю.Д., Овчинников Н.О., Бабушкина М.С., Ащепков И.В. Термальность и химическая неоднородность верхней мантии Байкало-Монгольского региона // Петрология. 2007. Т. 15, № 1. С. 61–92

Левицкий И.В., Левицкий В.И., Ефремов С.В. Петрология и геохимия пород фундамента Гарганской глыбы (Восточный Саян) // Известия Сибирского отделения. Серия наук о Земле РАЕН. 2014. № 4 (47). С. 43–55.

Рассказов С.В., Чувашова И.С. Вулканизм и трансенсия на северо-востоке Байкальской рифтовой системы. Новосибирск: Академическое

изд-во «Гео», 2018. 384 с. doi: 10.21782/B978-5-6041446-3-3.

Рассказов С.В., Аило Ю., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А. Соотношения петрологического коро-мантийного перехода и сейсмического раздела Мохо под гранулитовыми террейнами: признаки преобразований корневой части Восточно-Тункинского блока в глубинных нодулях из позднекайнозойских вулканических пород // Геология и окружающая среда. 2022. Т. 2, № 2. С. 91–127. doi: 10.26516/2541-9641.2022.2.91

Рассказов С.В., Меньшагин Ю.В., Ясныгина Т.А., Ильясова А.М., Саранина Е.В., Скопинцев В.Г. Хушагольский полихронный массив: гетерогенность источников палеозойских щелочных сиенитов и гранитов в Восточном Саяне, Юг Сибири // Литосфера. 2013. № 4. С. 88–109.

Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С., Саранина Е.В., Ильясова А.М., Скопинцев В.Г. Гарганский тип континентальной тектоносферы: Рb-изотопные оценки возраста событий ранней, средней и поздней геодинамических эпох Земли в слоях внешней оболочки, коромантийного перехода и литосферной мантии // Геология и окружающая среда. 2024. Т. 4, № 3. С. 7–32. doi: 10.26516/2541-9641.2024.3.7

Туркина О.М., Бибикова Е.В., Ножкин А.Д. Этапы и геодинамические обстановки раннепротерозойского гранитообразования на юго-западной окраине Сибирского кратона // Доклады академии наук. 2003. Т. 388, № 6. С. 779–783.

Чувашова И.С., Рассказов С.В. Новейший геодинамический этап Азии в контексте эволюции Земли // Геология и окружающая среда. 2025. Т. 5, № 4. С. 7–49. doi: 10.26516/2541-9641.2025.4.7.

Чувашова И.С., Рассказов С.В., Саранина Е.В.  $^{207}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}$  возраст источников позднекайнозойских вулканических пород коро-мантийного перехода в соотношении с возрастом офиолитов и древних блоков, экспонированных на поверхности коры: трансект Китой–Байдраг Байкало-Монгольского региона // Геология и окружающая среда. 2022. Т. 2, № 2. С. 61–90. doi: 10.26516/2541-9641.2022.2.61

Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Ковач В.П. и др. Nd-изотопная систематика коровых магматических протолитов Западного Забайкалья и проблема рифейского корообразования в Центральной Азии // Геотектоника. 1999. № 4. С. 3–20.

Alibert C., Michard A., Albarede F. Isotope and trace element geochemistry of Colorado Plateau volcanics // Geochim. Cosmochim. Acta. 1986. V. 50. P. 2735–2750.

Anand R., Balakrishnan S. Pb, Sr and Nd isotope systematics of metavolcanic rocks of the Hutti greenstone belt, Eastern Dharwar craton: Constraints on age, duration of volcanism and evolution of mantle sources during Late Archean // Journal of Asian Earth Sciences. 2010. V. 39. P. 1–11

Belousova E.A., Kostitsyn Y.A., Griffin W.L., Begg G.C., O'Reilly S.Y., Pearson N.J. The growth of the continental crust: constraints from zircon Hf-isotope data // Lithos. 2010. Vol. 119. P. 457–466. doi:10.1016/j.lithos.2010.07.024

Condie K.C., Aster R.C. Zircon age episodicity and growth of continental crust // EOS. Vol. 90, No. 41, 13, 2009. P. 364.

Condie K.C., O'Neill C., Aster R.C. Evidence and implications for a widespread magmatic shutdown for 250 My on Earth // Earth and Planetary Science Letters. 2009. Vol. 282. P. 294–298.

Doucet L.S., Ionov D.A., Golovin A.V. Paleoproterozoic formation age for the Siberian cratonic mantle: Hf and Nd isotope data on refractory peridotite xenoliths from the Udachnaya kimberlite // Chemical Geology. 2015. Vol. 391. P. 42–55. doi: 10.1016/j.chemgeo.2014.10.018

Geyh M.A., Schleicher H. Absolute age determination. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1990. 503 p.

Herzberg C., Asimow P.D., Arndt N., Niu Y., Leshner C.M., Fitton J.G., Cheadle M.J., Saunders A.D. Temperatures in ambient mantle and plumes: Constraints from basalts, picrites, and komatiites // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2007. Vol. 8: Q02006. doi:10.1029/2006GC001390.

Hofmann A.W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism // Nature. 1997. Vol. 385. P. 219–229.

Ionov D.A., Carlson R.W., Doucet L.S., Golovin A.V., Oleinikov O.B. The age and history of the lithospheric mantle of the Siberian craton: Re–Os and PGE study of peridotite xenoliths from the Obnazhennaya kimberlite // Earth and Planetary Science Letters. 2015. Vol. 428. P. 108–119. doi: 10.1016/j.epsl.2015.07.007

Jacob D.E., Foley S.F. Evidence for Archean ocean crust with low high field strength element signature from diamondiferous eclogite xenoliths // Lithos. 1999. Vol. 48. P. 317–336.

Larson R.L. Latest pulse of Earth: Evidence for a mid-Cretaceous superplume // Geology. 1991. V. 19. P. 547–550.

Lipman P.W. Cenozoic volcanism in the Western United States: implications for continental tectonic // Continental tectonics. Washington: National Academy of Sciences, 1980. P. 161–174.

Machel P., Humler E. High mantle temperature during Cretaceous avalanche // *Earth Planet Sci. Letters*. 2003. Vol. 208. P. 125–133.

Moyen J.-F., Paquette J.-L., Ionov D.A., Gannoun A., Korsakov A.V., Golovin A.V., Moine B.N. Paleoproterozoic rejuvenation and replacement of Archaean lithosphere: Evidence from zircon U–Pb dating and Hf isotopes in crustal xenoliths at Udachnaya, Siberian craton // *Earth and Planetary Science Letters*. 2017. Vol. 457. P. 149–159.

Næraa T., Scherste A., Rosing M.T., Kemp A.I.S., Hoffmann J.E., Kokfelt T.F., Whitehouse M.J. Hafnium isotope evidence for a transition in the dynamics of continental growth 3.2 Gyr ago // 2012. *Nature*. Vol. 485: 627. doi: 10.1038/nature11140

Pearson D.G., Parman S.W., Nowell G.M. A link between large mantle melting events and continent growth seen in osmium isotopes // *Nature*. 2007. Vol. 449: 202.

Pearson D.G., Snyder G.A., Shirey S.B., Taylor L.A., Carlson R.W., Sobolev N.V. Archaean Re–Os age for Siberian eclogites and constraints on Archaean tectonics // *Nature*. 1995. Vol. 374. P. 711–713.

Pollat A., Kerrich R. Magnesian andesites, Nb-enriched basalt-andesites, and adakites from late-Archaean 2.7 Ga Wawa greenstone belts, Superior Province, Canada: implications for late Archean subduction zone petrogenesis processes // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2001. Vol. 141. P. 36–52.

Rasskazov S.V., Brandt S.B., Brandt I.S. Radiogenic isotopes in geologic processes. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2010. 306 p. doi:10.1007/978-90-481-2999-7

Rasskazov S., Chuvashova I., Yasnygina T., Saranina E. Mantle evolution of Asia inferred from Pb isotopic signatures of sources for Late Phanerozoic volcanic rocks // *Minerals* 2020. Vol. 10, No. 9: 739; doi:10.3390/min10090739

Rudnick R.L. Earth's continental crust / W.M. White (ed.), *Encyclopedia of Geochemistry*, Springer International Publishing AG 2017. doi: 10.1007/978-3-319-39193-9\_277-1

Taylor L.A., Anand M. Diamonds: time capsules from the Siberian Mantle // *Chemie der Erde*. 2004. Vol. 64. P. 1–74.

Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: its composition and evolution. Oxford–London–Edinburgh–Boston–Palo Alto–Melbourne: Blackwell Scientific Publications, 1985. 312 p.

Tilton G.R. Volume diffusion as a mechanism for discordant lead ages // *J. Geophys. Res.* 1960. Vol. 65. P. 2933–2945.

White W.M. Isotope geochemistry. *Geol.* 656. 2000. 281 p.

Wittig N., Webb M., Pearson D.G., Dale C.W., Ottley C.J., Hutchison M., Jensen S.M., Luguet A. Formation of the North Atlantic Craton: Timing and mechanisms constrained from Re–Os isotope and PGE data of peridotite xenoliths from S.W. Greenland // *Chem Geol.* 2010. Vol. 276. P. 166–187.

## References

Ailow Yu., Rasskazov S.V., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S. Finding of Fe–Si inclusions in deep nodules from trachybasalts of Karyer volcano (Tunka Valley of the Baikal Rift System) and its significance for understanding the origin of ferruginous quartzites of the Great Oxidation Event // XIII All-Russian Petrographic Meeting (with the participation of foreign scientists) “Petrology and Geodynamics of Geological Processes”. September 6–13. Irkutsk: IGC SB RAS and IZK SB RAS, 2021. P. 18–23.

Alibert C., Michard A., Albarede F. Isotope and trace element geochemistry of Colorado Plateau volcanics // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1986. V. 50. P. 2735–2750.

Anand R., Balakrishnan S. Pb, Sr and Nd isotope systematics of metavolcanic rocks of the Hutti greenstone belt, Eastern Dharwar craton: Constraints on age, duration of volcanism and evolution of mantle sources during Late Archean // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2010. V. 39. P. 1–11

Belousova E.A., Kostitsyn Y.A., Griffin W.L., Begg G.C., O'Reilly S.Y., Pearson N.J. The growth of the continental crust: constraints from zircon Hf-isotope data // *Lithos*. 2010. Vol. 119. P. 457–466. doi:10.1016/j.lithos.2010.07.024

Chuvashova I.S., Rasskazov S.V. The latest geodynamic stage of Asia in the context of Earth's evolution // *Geology and Environment*. 2025. Vol. 5, No. 4. P. 7–49. doi: 10.26516/2541-9641.2025.4.7.

Chuvashova I.S., Rasskazov S.V., Saranina E.V. <sup>207</sup>Pb–<sup>206</sup>Pb age of sources of Late Cenozoic volcanic rocks of the crust-mantle transition in relation to the age of ophiolites and ancient blocks exposed on the surface of the crust: transect Kitoi–Baydrag of the Baikal-Mongolian region // *Geology and Environment*. 2022. Vol. 2, No. 2. P. 61–90. doi: 10.26516/2541-9641.2022.2.61

Condie K.C., Aster R.C. Zircon age episodicity and growth of continental crust // *EOS*. Vol. 90, No. 41, 13, 2009. P. 364.

Condie K.C., O'Neill C., Aster R.C. Evidence and implications for a widespread magmatic shutdown for 250 My on Earth // *Earth and Planetary Science Letters*. 2009. Vol. 282. P. 294–298.

Doucet L.S., Ionov D.A., Golovin A.V. Paleoproterozoic formation age for the Siberian cratonic mantle: Hf and Nd isotope data on refractory peridotite xenoliths from the Udachnaya kimberlite // *Chemical*

Geology. 2015. Vol. 391. P. 42–55. doi: 10.1016/j.chemgeo.2014.10.018

Geyh M.A., Schleicher H. Absolute age determination. Springer–Verlag, Berlin Heidelberg, 1990. 503 p.

Glebovitsky V.A., Nikitina L.P., Saltykova A.K., Pushkarev Yu.D., Ovchinnikov N.O., Babushkina M.S., Ashchepkov I.V. Thermal and chemical heterogeneity of the upper mantle of the Baikal-Mongolian region // *Petrology*. 2007. Vol. 15, No. 1. P. 61–92.

Herzberg C., Asimow P.D., Arndt N., Niu Y., Leshner C.M., Fitton J.G., Cheadle M.J., Saunders A.D. Temperatures in ambient mantle and plumes: Constraints from basalts, picrites, and komatiites // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2007. Vol. 8: Q02006. doi:10.1029/2006GC001390.

Hofmann A.W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism // *Nature*. 1997. Vol. 385. P. 219–229.

Ionov D.A., Carlson R.W., Doucet L.S., Golovin A.V., Oleinikov O.B. The age and history of the lithospheric mantle of the Siberian craton: Re–Os and PGE study of peridotite xenoliths from the Obnazhennaya kimberlite // *Earth and Planetary Science Letters*. 2015. Vol. 428. P. 108–119. doi: 10.1016/j.epsl.2015.07.007

Jacob D.E., Foley S.F. Evidence for Archean ocean crust with low high field strength element signature from diamondiferous eclogite xenoliths // *Lithos*. 1999. Vol. 48. P. 317–336.

Larson R.L. Latest pulse of Earth: Evidence for a mid-Cretaceous superplume // *Geology*. 1991. V. 19. P. 547–550.

Levitsky I.V., Levitsky V.I., Efremov S.V. Petrology and geochemistry of basement rocks of the Gargan Block (Eastern Sayan) // *Bulletin of the Siberian Branch. Earth Sciences Series of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2014. No. 4 (47). P. 43–55.

Lipman P.W. Cenozoic volcanism in the Western United States: implications for continental tectonic // *Continental tectonics*. Washington: National Academy of Sciences, 1980. P. 161–174.

Machel P., Humler E. High mantle temperature during Cretaceous avalanche // *Earth Planet Sci. Letters*. 2003. Vol. 208. P. 125–133.

Moyen J.-F., Paquette J.-L., Ionov D.A., Gannoun A., Korsakov A.V., Golovin A.V., Moine B.N. Paleoproterozoic rejuvenation and replacement of Archean lithosphere: Evidence from zircon U–Pb dating and Hf isotopes in crustal xenoliths at Udachnaya, Siberian craton // *Earth and Planetary Science Letters*. 2017. Vol. 457. P. 149–159.

Næraa T., Scherste A., Rosing M.T., Kemp A.I.S., Hoffmann J.E., Kokfelt T.F., Whitehouse M.J. Hafnium isotope evidence for a transition in the dynamics of continental growth 3.2 Gyr ago // *Nature*. 2012. Vol. 485: 627. doi: 10.1038/nature11140

Pearson D.G., Parman S.W., Nowell G.M. A link between large mantle melting events and continent growth seen in osmium isotopes // *Nature*. 2007. Vol. 449: 202.

Pearson D.G., Snyder G.A., Shirey S.B., Taylor L.A., Carlson R.W., Sobolev N.V. Archean Re–Os age for Siberian eclogites and constraints on Archean tectonics // *Nature*. 1995. Vol. 374. P. 711–713.

Pollat A., Kerrich R. Magnesian andesites, Nb-enriched basalt-andesites, and adakites from late-Archean 2.7 Ga Wawa greenstone belts, Superior Province, Canada: implications for late Archean subduction zone petrogenesis processes // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2001. Vol. 141. P. 36–52.

Rasskazov S.V., Ailow Yu., Chuvashova I.S., Yasnygina T.A. Relationship between petrological core-mantle transition and the seismic Moho discontinuity below granulite terranes: evidence on transformation of a root part beneath the eastern Tunka block in deep-seated nodules from late Cenozoic volcanic rocks // *Geology and Environment*. 2022. Vol. 2, No. 2. P. 91–127. doi: 10.26516/2541-9641.2022.2.91)

Rasskazov S.V., Brandt S.B., Brandt I.S. Radiogenic isotopes in geologic processes. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2010. 306 p. doi:10.1007/978-90-481-2999-7

Rasskazov S., Chuvashova I., Yasnygina T., Saranina E. Mantle evolution of Asia inferred from Pb isotopic signatures of sources for Late Phanerozoic volcanic rocks // *Minerals* 2020a. Vol. 10, No. 9: 739; doi:10.3390/min10090739

Rasskazov S.V., Menshagin Yu.V., Yasnygina T.A., Ilyasova A.M., Saranina E.V., Skopintsev V.G. Khushagol polychronic massif: heterogeneity of sources for Paleozoic alkaline syenites and granites in the Eastern Sayan, Southern Siberia // *Lithosphere*. 2013. No. 4. P. 88–109.

Rasskazov S.V., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S., Saranina E.V., Ilyasova A.M., Skopintsev V.G. The Gargan-Type continental tectonosphere: Pb-isotope age estimates for events of the early, middle, and late geodynamic epochs of the Earth in layers of outer shell, crust-mantle transition, and lithospheric mantle // *Geology and Environment*. 2024b. Vol. 4, No. 3. P. 7–32. doi: 10.26516/2541-9641.2024.3.7)

Rudnick R.L. Earth's continental crust / W.M. White (ed.), *Encyclopedia of Geochemistry*, Springer International Publishing AG 2017. doi: 10.1007/978-3-319-39193-9\_277-1

Tatsumoto, M. (1988). U, Th and Pb abundances in Hawaiian xenoliths. *Conf. Origin of the Earth. Lunar & Planetary Institute*, pp. 89–90.

Taylor L.A., Anand M. Diamonds: time capsules from the Siberian Mantle // *Chemie der Erde*. 2004. Vol. 64. P. 1–74.

Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: its composition and evolution.

Oxford–London–Edinburgh–Boston–Palo Alto–Melbourne: Blackwell Scientific Publications, 1985. 312 p.

Tilton G.R. Volume diffusion as a mechanism for discordant lead ages // *J. Geophys. Res.* 1960. Vol. 65. P. 2933–2945.

Turkina O.M., Bibikova E.V., Nozhkin A.D. Stages and geodynamic settings of Early Proterozoic granite formation on the southwestern margin of the Siberian craton // *Doklady Earth Sciences*. 2003. Vol. 389, No. 2. P. 159–163.

Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.I., Kovach V.P. et al. Nd-Isotope systematics of crustal igneous protoliths of Western Transbaikalia and the problem of Riphean crust formation in Central Asia // *Geotectonics*. 1999. No. 4. P. 3–20.

White W.M. Isotope geochemistry. *Geol.* 656. 2000. 281 p.

Wittig N., Webb M., Pearson D.G., Dale C.W., Ottley C.J., Hutchison M., Jensen S.M., Luguët A. Formation of the North Atlantic Craton: Timing and mechanisms constrained from Re–Os isotope and PGE data of peridotite xenoliths from S.W. Greenland // *Chem Geol.* 2010. Vol. 276. P. 166–187.

*Рассказов Сергей Васильевич,*

*доктор геолого-минералогических наук, профессор,*

*664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,*

*Иркутский государственный университет, геологический факультет,*

*заведующий кафедрой динамической геологии*

*664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,*

*Институт земной коры СО РАН,*

*заведующий лабораторией изотопии и геохронологии,*

*тел.: (3952) 51–16–59,*

*email: rassk@crust.irk.ru*

***Rasskazov Sergei Vasilevich,***

*doctor of geological and mineralogical sciences, professor,*

*664003 Irkutsk, st. Lenina, 3,*

*Irkutsk State University, Faculty of Geology,*

*Head of Dynamic Geology Chair,*

*664033 Irkutsk, st. Lermontova, 128,*

*Institute of the Earth's Crust SB RAS,*

*Head of the Laboratory for Isotopic and Geochronological Studies,*

*tel.: (3952) 51–16–59,*

*email: rassk@crust.irk.ru*

## УЧЕНЫЕ-ПЕРВОПРОХОДЦЫ

УДК 551.21:551.33

<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2026.1.126>

EDN: JZIHSZ

### У истоков учения о рифтогенезе (письма Е.Е. Милановского из Исландии 1972–73 гг.)

Т.Ю. Тверитинова<sup>1,2</sup>, А.И. Гушчин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

**Аннотация.** Освещаются работы по Геодинамическому проекту, проводившиеся в Исландии Е.Е. Милановским и Н.А. Логачевым под научным руководством В.В. Белоусова в 1971–1973 гг. Приводятся зарисовки и фотографии вулканического и ледникового рельефа (архив Е.Е. Милановского).

**Ключевые слова:** Исландия, рифтогенез, история геологии.

### At the Origins of Rifting Theory (Letters of E.E. Milanovsky from Iceland, 1972–73)

T.Yu. Tveritinova<sup>1,2</sup>, A.I. Gushchin<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Abstract.** This paper covers the work on the Geodynamic Project conducted in Iceland by E.E. Milanovsky and N.A. Logatchev under the scientific supervision of V.V. Belousov from 1971 to 1973. Sketches and photographs of volcanic and glacial relief are provided (E.E. Milanovsky's archive).

**Keywords:** Iceland, rifting, history of geology.

Комплексные широкомасштабные геолого-геофизические исследования дна Мирового океана, развернувшиеся в конце 50-х–60-х годах прошлого века, привели к открытию глобальной системы срединно-океанических хребтов (СОХ) и их особой роли в современной тектонической структуре Земли. За относительно короткое время были получены новые геологические, геофизические и

геохимические данные о строении СОХ, подтверждающие их раздвиговую рифтогенную природу. Так возникла концепция спрединга морского дна, ставшая одним из основных положений теории тектоники литосферных плит. Однако в то время в основном эти революционные представления о роли рифтогенеза в истории тектонического развития Земли основывались на интерпретации

\* Статья получена: 10.03.2026; исправлена: 20.03.2026; принята: 27.03.2026.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Тверитинова Т.Ю., Гушчин А.И. У истоков учения о рифтогенезе (письма Е.Е. Милановского из Исландии 1972–73 гг.) // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 1. С. 126–155. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.126. EDN: JZIHSZ

Article received: 10.03.2026; corrected: 20.03.2026; accepted: 27.03.2026.

FOR CITATION: Tveritinova T.Yu., Gushchin A.I. At the origins of rifting theory (letters of E.E. Milanovsky from Iceland, 1972–73) // Geology and Environment. 2026. Vol. 6, No. 1. P. 126–155. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.126. EDN: JZIHSZ

морских подводных геолого-геофизических материалов, в какой-то мере ограниченных.

После того как огромное значение рифтов в строении земной коры стало очевидным, перед мировым геологическим сообществом встала задача их систематического геолого-геофизического изучения. В рамках международной программы «Проекта верхняя мантия» Академией наук СССР была организована комплексная Восточно-Африканская экспедиция под руководством чл.-корр. АН СССР, проф. геологического факультета МГУ В.В. Белоусова. Экспедиция в течение трех лет с 1967 по 1969 г. работала в Танзании, Кении, Уганде, Руанде и Бурунди, проводя всестороннее геологическое, геофизическое и геохимическое изучение крупнейшей на планете континентальной рифтовой системы. В результате этих работ в СССР возникло новое научное направление исследования различных аспектов процесса рифтогенеза – одного из важнейших в тектонической истории Земли. Признанным в международном масштабе лидером этого направления стал Е.Е. Милановский.

После завершения «Проекта верхняя мантия» XV Генеральная ассамблея Международного геодезического и геофизического союза (МГГС), проходившая в 1971 г. в Москве, приняла новый международный «Геодинамический проект», основная цель которого осталась той же — изучение глубинных причин эндогенных геологических процессов. Возникший интерес и к исследованию рифтов только усилился.

Результаты дистанционного изучения преимущественно геофизическими методами океанических рифтов, роль которых в тектонической эволюции Земли становилась все более очевидной, далеко не всегда могли быть истолкованы однозначно. Естественно возникла необходимость дополнения и подтверждения морских исследований непосредственными геологическими наблюдениями на суше в местах, где отдельные вершины СОХ достигают уровня океана и даже выступают над водой в виде островов. Наиболее крупным из таких островов, лежащих на продолжении подводного СОХ, является Исландия, расположенная на Срединно-Атлантическом хребте. Именно рифтовая система Исландии была выбрана в качестве наиболее

благоприятного объекта исследования всеми доступными методами в рамках принятого «Геодинамического проекта».

Одним из вкладов отечественных геологов в этот проект была организация советской комплексной геолого-геофизической экспедиции в Исландию. Научным руководителем Исландской экспедицией остался В.В. Белоусов. А вот коллектив исследователей расширился за счет сейсмологов из Института физики Земли, вулканологов из Камчатского института вулканологии, геохимиков из ГЕОХИ, стратиграфов, литологов и тектонистов из Геологического института АН СССР. В экспедиции было две группы – морская, проводившая исследования на НИС «Михаил Ломоносов» и наземная. Единая согласованная программа наземных и морских исследований экспедиции была рассчитана на три года с 1971 по 1973 годы с возможным последующим продлением.

Наземная группа приступила к работам 15 августа 1971 г. Группа включала геологов, сейсмологов, геохимиков, а кроме того – геоэнергетика, гидрохимика и даже планетолога. Всего 12 человек. В качестве базы экспедиции был арендован дом в 4 км от Рейкьявика (Трифонов, 2025). Исследования проводились преимущественно на территории северной части Исландии. Сейсмологи с помощью специальной аппаратуры исследовали современную сейсмическую активность острова, вели глубинное сейсмическое зондирование в северных районах Исландии. Геохимики выясняли происхождение кислых вулканических пород, по объему составляющих довольно большую часть общей массы горных пород Исландии, геоэнергетик и гидрохимик изучали тепловой и гидрохимический режимы, планетолог должен был сравнить рельеф Исландии с рельефом Луны.

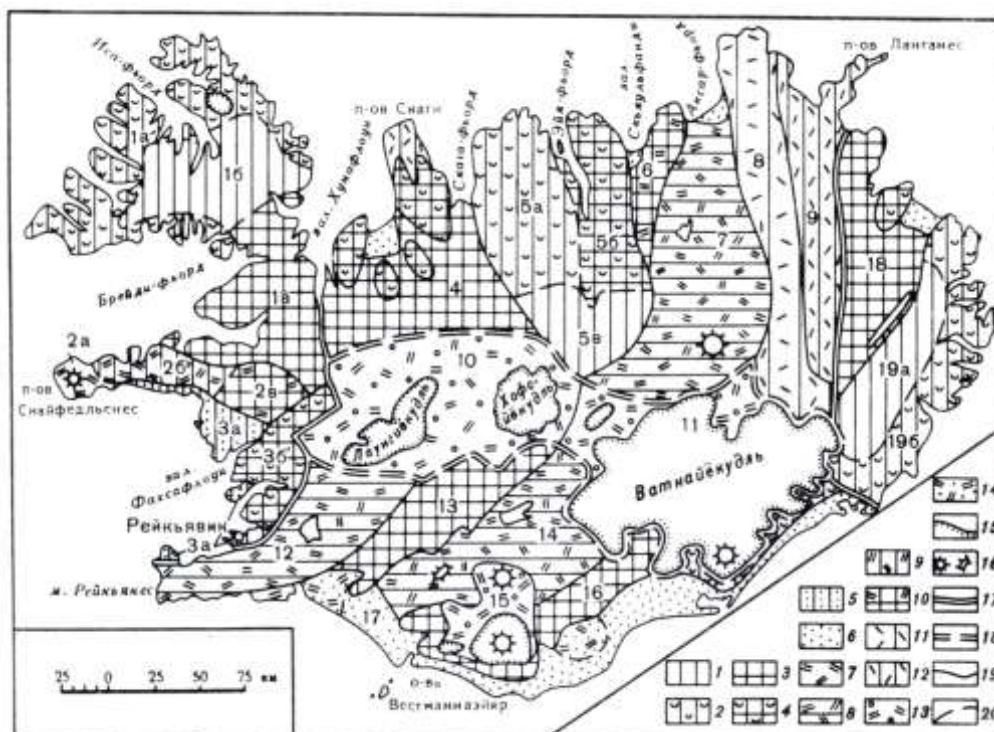
Перед геологами стояла задача изучения основных особенностей общей тектонической структуры острова. В группу геологов входили Е.Е. Милановский, Н.А. Логачев, М.Г. Ломизе и А.А. Краснов, которые провели тектоническое районирование Исландии, впервые используя геоморфологический метод для изучения новейших тектонических движений Исландии. Для подсчета величины общего растяжения, которому подверглась земная кора острова, вели

наблюдения над дайками, пронизывающими на востоке толщу платобазальтов.

Научные достижения, полученные Исландской экспедицией в ходе работ 1971-1973 гг. хорошо известны. ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ИНТЕРЕСНЫЕ И ПОДЧАС УНИКАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ опубликованы участниками экспедиции в большом количестве статей в различных научных отечественных и зарубежных журналах (Белоусов, Милановский, 1975 и др.). В

70-х годах вышли в свет пять коллективных монографий, посвященные стратиграфии и литологии, глубинному строению, сейсмичности, геотермии, геохимии, строению дна океана, геоморфологии и тектонике Исландии (Исландия..., 1979).

Приведем как пример схему геоморфологического районирования Исландии, составленную Е.Е. Милановским. Эта карта фактически первая геоморфологическая карта Исландии (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема геоморфологического районирования Исландии. Составил Е.Е. Милановский (Исландия..., 1979). Области и районы (цифры) (буквами обозначены подрайоны: 1–3 – западная область: I – северо-западный, 2 – Снайфедльснес, 3 – юго-западный; 4–17 – центральная область: 4–9 – Северная подобласть: 4 – Ватснес–Сааги, 5 – Эйфьордский, 6 – Тьёднес–Бардардалур, 7 – Аскья–Миватн, 8 – Снайфедль–Мельраккаслъетта, 9 – Ланганес–Сандфедль; 10–11 – Средняя подобласть: 10 – Лаунгйёкудль–Хофсйёкудль, 11 – Ватнайёкудль; 12–17 – Южная подобласть: 12 – Гекла–Лаки, 15 – Мирдальсёкудль, 16 – юго-восточный, 17 – южного побережья. 18–19 – восточная область: 18 – северо-восточный, 19 – восточный. Преобладающие генетические типы рельефа: 1 – денудационный с преобладанием экзарационных форм покровного оледенения; 2 – то же, горно-долинного оледенения; 3 – денудационно-тектонический с преобладанием экзарационных форм покровного оледенения; 4 – то же, горно-долинного оледенения; 5 – денудационно-аккумулятивный; 6 – аккумулятивный; 7 – вулканический; 8 – тектоно-вулканический; 9 – сочетание денудационного и вулканического; 10 – денудационно-тектонический с "вкрапленностью" вулканического; 11 – вулканический, слабо переработанный денудацией; 12 – денудационный эпивулканический; 13 – ледниково-вулканический; 14 – аккумулятивно-вулканический; 15 – крупнейшие современные ледники; 16 – крупнейшие современные вулканы (в том числе подледные); 17 – границы областей; 18 – границы подобластей; 19 – границы районов; 20 – границы подрайонов.

**Fig. 1.** Geomorphological zoning scheme of Iceland. Compiled by E.E. Milanovsky (Iceland..., 1979). Regions and districts (numbers) (letters indicate sub-regions): 1–3 – Western region: I – Northwest, 2 –

Snæfellsnes, 3 – Southwest; 4–17 – Central region: 4–9 – Northern sub-region: 4 – Vatsnes–Skagi, 5 – Eyfjord, 6 – Tjödnes–Bardardalur, 7 – Askja–Myvatn, 8 – Snæfell–Möllrakkasletta, 9 – Langanes–Sandfell; 10–11 – Middle sub-region: 10 – Langiökull–Hofsjökull, 11 – Vatnajökull; 12–17 – Southern sub-region: 12 – Hekla–Laki, 15 – Mýrdalsjökull, 16 – south-eastern, 17 – southern coast. 18–19 – eastern region: 18 – north-eastern, 19 – eastern. Prevailing genetic types of relief: 1 – denudation with prevalence of exaration forms of sheet glaciation; 2 – the same, mountain-valley glaciation; 3 – denudation-tectonic with prevalence of exaration forms of sheet glaciation; 4 – the same, mountain-valley glaciation; 5 – denudation-accumulative; 6 – accumulative; 7 – volcanic; 8 – tectonic-volcanic; 9 – combination of denudation and volcanic; 10 – denudation-tectonic with "interspersed" volcanic; 11 – volcanic, slightly reworked by denudation; 12 – denudation epivolcanic; 13 – glacial-volcanic; 14 – accumulative-volcanic; 15 – largest modern glaciers; 16 – largest modern volcanoes (including subglacial); 17 – boundaries of regions; 18 – boundaries of subregions; 19 – boundaries of districts; 20 – boundaries of subdistricts.

Е.Е. Милановский не принимал участия в первом полевом сезоне работы экспедиции (1971 г.), в то лето он в составе Боливийской экспедиции АН СССР работал в Андах Южной Америки. Но летом 1972 г. Евгений Евгеньевич активно, по его словам «с ходу», включился в деятельность Исландской экспедиции. *«Пишу тебе из предместья Рейкьявика – городка Копавогур, где мы живем в двухэтажном коттедже уже шестой день... Погода стоит прохладная, строго чередуются солнечные и пасмурные дни (вернее, сутки), так как ночей совсем нет – Солнце садится без четверти двенадцать, и через час начинает вновь вылезать на небо...»* (Из письма Е.Е. Милановского сыну Владимиру от 23 июня 1972 г.). Совершенно естественным образом возродился и сложившийся еще в годы работы Восточно-Африканской экспедиции успешный «тандем» с Н.А. Логачевым. Вероятно, эти единомышленники, будущие «академики рифтогенеза» по своим человеческим качествам очень подходили друг другу (рис. 2). Во время полевых работ между ними существовало полное взаимопонимание, взаимная «притертость» как членов хоть и маленького, но единого «научного организма». Вот как об этом вспоминал Е.Е. Милановский: *«За два сезона нашей совместной работы в Исландии у нас ни разу возникало никаких разногласий (за исключением трактовки отдельных частных научных вопросов, по поводу которых мы стремились находить и, как правило, находили общее наиболее приемлемое решение). Все же чисто бытовые проблемы решались единогласно, а выбор мест для ночевки и питания не затруднял нас...»* (Милановский, 2007). Хотя бытовые условия проведения работ в Исландии по сравнению с Восточно-Африканской экспедицией были значительно более жесткими. Если в Африке в распоряжении Евгения Евгеньевича и Николая Алексеевича постоянно находился специально

оборудованный для полевых работ «Лэндровер» с водителем и штат рабочих по лагерю, которые обеспечивали питание и бытовое обслуживание, то в Исландии «академики рифтогенеза» были на полном самообеспечении. Оба полевых сезона в Исландии они работали практически автономно и почти исключительно вдвоем. Как правило, перемещались на небольшом арендованном «Фольксвагене» и, поскольку Евгений Евгеньевич водить машину не умел и ни разу в жизни за рулем не сидел, то все обязанности по вождению машины и ее обслуживанию в маршрутах ложились на Н.А. Логачева, и это стало его главной работой и заботой. А вот обеспечение питания и функции «кулинара» всецело входили в обязанности Е.Е. Милановского, что его несколько не обременяло и, что более важно, не вызывало нареканий со стороны Николая Алексеевича (Милановский, 2007).





**Рис. 2.** Единомышленники Е.Е. Милановский и Н.А. Логачев на леднике в Исландии

**Fig. 2.** Like-minded people E.E. Milanovsky and N.A. Logatchev on a glacier in Iceland

Не часто, но все же их маленькому отряду доставался и специально оборудованный для экспедиционных полевых работ автомобиль, который Евгений Евгеньевич называет в своих воспоминаниях грузовым (рис. 3). Вот

как Е.Е. Милановский описывает этот чудо-автомобиль и их быт в письме к сыну Владимиру 19 июля 1972 года: «Палатку ни разу не ставили – жили в машине, которую в шутку называем «хатой – лабораторией». Внутри она похожа на купе ж.д. вагона или каюту. Лавки по краям, откидной стол и окошко над ним (над кабиной), на полу 6 выючных ящиков, расширяющих лавки и служащие вместе с ними кроватями, в середине – проход, сзади – газовый баллон и портативная складная плита. Раскладушки также ни разу не использовали, большой бидон для воды – тоже, так как чистая пресная вода есть практически везде, именно поэтому остановившись всюду, лишь бы можно было съехать с дороги, а это не всегда возможно, т.к. вокруг – тундра, и под щебнем или травой – как правило – топь, в которой проваливается машина. Ночью светло почти как днем, и иногда работали до 10-12 часов ночи, а ехали однажды даже до 2-х часов ночи».



**Рис. 3.** Вид на восток и юго-восток в Скаал (Skaal) (слева) и Ватнснесфьелль (Vatnsnesfjall) (справа) от мыса Бримнес (Brimnes) в средней части СЗ п/о-ва Исландии. 1972 г.

**Fig. 3.** View to the east and southeast at Skaal (left) and Vatnsnesfjall (right) from Cape Brimnes in the central part of the northwest peninsula of Iceland. 1972.

Вместе с тем как человек деликатный Евгений Евгеньевич постоянно испытывал чувство некоторой неловкости по отношению к своему товарищу, так как считал, что находится в более выгодном, «привилегированном» по сравнению с ним положении. И вот почему: «С Логачевым отношения самые хорошие и простые; ему, конечно, приходится трудней, т.к. он водит машину, а я „катаюсь“» (Из письма жене З.В. Тимофеевой от 19 июля 1972 года). Вероятно, в этом был определенный резон, Николай Алексеевич как не профессиональный шофер во время маршрутов, да еще в чужой стране с ее

правилами дорожного движения, должен был практически все свое внимание уделять исключительно вождению машины, отвлекаться на геологические наблюдения у него не было возможности. В то время как Евгений Евгеньевич, по его же словам, «занимался стряпней лишь во время остановок и отдыха, тогда как в ходе геологических маршрутов и переездов по Исландии мог всецело предаваться научным наблюдениям» (Милановский, 2007).

Скорее всего, обязанности шофера давались Н.А. Логачеву нелегко, ему нужно было время для того, чтобы восстановиться и

перевести дух. «Даже когда мы останавливались для описания обнажений, замеров элементов залегания пород и прочего, он ничего не записывал и не зарисовывал, а всецело полагался на мои записи, я же лишь согласовывал с ним принятую нами совместно интерпретацию того или другого объекта» (Милановский, 2007).

Важно отметить, что все материалы полевых наблюдений друзья-единомышленники рассматривали как результаты совместной работы, которыми и тот, и другой могли пользоваться на равноправной основе.

А нового и интересного было много. Из письма Е.Е. Милановского жене 25 августа 1972 года: «Работа доставляет удовлетворение, т.к. почти каждый день приносит интересные новые наблюдения и новые данные, особенно по неотектонике, которой в этих местах по существу не занимались.

Выделяются грабены, горсты и т.п. вне известных в Исландии рифтовых зон». Полевые работы Евгений Евгеньевич и Николай Алексеевич вели практически по всей территории Исландии. То они исследовали самый северо-запад Исландии – полуостров Вестфирдир, который за внешнее сходство называли «Лапой». Через некоторое время они уже в центре Исландии на действующем вулкане Аскья, где в течение трех дней проводят исследования совместно с молодыми сотрудниками ГИНа (В.И. Кононов, Б.Г. Поляк, Ю.Б. Гладенков, В.Г. Трифонов, А.Р. Гептнер) (рис. 4). Затем поездка на северное побережье на полуостров Тьорнес и возвращение на юг в район Рейкьявика. Оттуда (от озера Миватн) кольцевой маршрут на северо-восток, затем вновь вулкан Аскья и, наконец, возвращение на юг в Рейкьявик через самый центр Исландии.



**Рис. 4.** Члены Исландской Экспедиции АН СССР 1972 года среди местных геологов и студентов. Во втором ряду первый слева Н.А. Логачев, третий А.Р. Гептнер, второй справа Ю.Б. Гладенков, первый – Е.Е. Милановский.

**Fig. 4.** Members of the 1972 Icelandic Expedition of the USSR Academy of Sciences among local geologists and students. In the second row, first from the left is N.A. Logatchev, third is A.R. Geptner, second from the right is Yu.B. Gladenkov, first is E.E. Milanovsky.

Из письма Е.Е. Милановского жене от 5 августа 1972 года: «Юг встретил нас теплой, солнечной погодой, безоблачным синим небом, и ощущение было такое, будто мы вышли на южный берег Крыма или чуть ли не на Средиземное море. Вечером по приезде поехали в город – отпариваться и мыться в финской бане. Вчера камералили, обсуждали с В.В. (Владимир Владимирович Белоусов) результаты проведенных с начала экспедиции геологических маршрутов и планы на август-сентябрь».

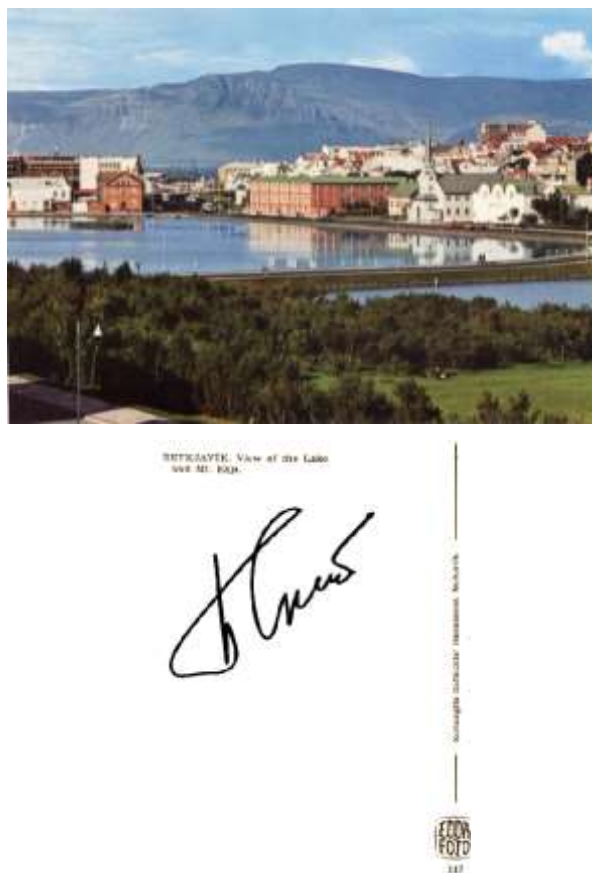
Уже через два дня бросок на запад Исландии на полуостров Снайфедльснес, получивший название по находящемуся на его западном окончании вулкану Снайфедль. «...После отъезда В.В. 7-го мы уехали с Логачевым на 4 дня на п/о-в Снейфальснес. Погода стояла прекрасная, маршрут был очень интересным и, кажется, было бы полезным на будущий год поставить там более детальные работы. Опять пересели на свою машину, которая служит нам домом, и не знаем никаких

лагерных хлопот» (Из письма жене З.В. Тимофеевой от 12 августа 1972 г.).

Возвращение. Короткие два дня в Рейкьявике, подготовка к 20-дневному маршруту на север и вновь в путь. Из письма З.В. Тимофеевой от 25 августа 1972 г.: «Почти две недели, как мы выехали из Рейкьявика на север. Пересекли остров по западной сквозной дороге и с тех пор крутимся на сравнительно небольшой площади Северо-Западной Исландии... Жаль только, что время летит быстро и дней для работы остается мало, многое придется оставить на будущий год. Дни становятся короче и прохладнее. Почти каждый день моросит, а то и хлещет дождь, и свирепствует ветер, но хорошо, что всегда можно спрятаться и обсушиться в машине. В условиях Исландии это великое благо. Грибы кончаются. За эту поездку только два раза жарили подберезовики (здесь их правильнее называть надберезовиками), но зато в последние дни поспела черника, и целые склоны местами усыпаны гроздьями синих ягод».

Но не только полевые работы и проблемы рифтогенеза занимали умы наших ученых. В июле 1972 года в столице Исландии Рейкьявике должен был состояться и состоялся матч за звание чемпиона мира по шахматам между чемпионом мира советским гроссмейстером Борисом Спасским и претендентом на это звание американцем Бобби Фишером. Матч вошел в историю шахмат как «матч столетия» и стал не только спортивным событием, но и символом противостояния СССР и США в ту эпоху холодной войны. Конечно, участники экспедиции знали и следили за этим событием. «Позавчера прилетел Спасский со свитой, на днях ожидают Фишера. На первые два матча билеты проданы (5 долларов). Вроде бы многие исландцы „болеют“ за Спасского. Матч начнется 2 июля, а мы в конце июня выезжаем в поле (я с Логачевым буду работать в районах Западного и Северного побережий) и вновь всей экспедицией соберемся в Рейкьявике в первых числах августа. Тогда постараюсь посетить матч» (Из письма Е.Е. Милановского сыну Владимиру

от 23 июня 1972 г.). И посетили! По крайней мере, Е.Е. Милановский был на этом матче, о чем свидетельствует сохранившийся в его письмах автограф Бориса Спасского (рис. 5).



**Рис. 5.** Автограф 10-го чемпиона мира по шахматам (1969–1972) Бориса Васильевича Спасского.

**Fig. 5.** Autograph of the 10th World Chess Champion (1969–1972) Boris Vasilyevich Spassky.

Летом следующего 1973 года полевые работы продолжились. Основная база экспедиции находилась все там же в окрестностях Рейкьявика, остались прежними и белые ночи, и прохладная во многом непредсказуемая исландская погода. Сохранился и полевой тандем единомышленников, как и прежде Николай Алексеевич Логачев и Евгений Евгеньевич Милановский вновь составили маленький, но очень мобильный и продуктивный научный коллектив (рис. 6): «В первом письме (письмо, к сожалению, не сохранилось) я рассказывал о нашем полете на остров Хеймаэй, где в начале года, в январе произошло, и еще продолжается, сильное извержение... После поездки на Хеймаэй

началась систематическая полевая работа. Мы, как и в прошлом году, работали вдвоем с Логачевым, но в этом году пока совсем недалеко (к северу) от Рейкьявика и значительно более детально. Мало ездим и много лазаем по горам» (Из письма сыну Владимиру от 21 июля 1973 г.). Таким образом, в 1973 году заметно изменился характер полевых работ. Многочисленные постоянные длительные выезды в различные районы Исландии сменились более планомерной детальной

работой на отдельных объектах. Это подтверждается и в письме Евгения Евгеньевича З.В. Тимофеевой от 20 июля 1973 года: «... У нас в первой половине июля шла рутинная геологическая работа в обжитых, сравнительно недалеко от Рейкьявика местах (к северу от столицы). Ездили немного, больше ходили и лазали до 600-700 м вверх... Чувствую себя хорошо, настроение спокойное, работаю с интересом».



**Рис. 6.** Снова небольшим мобильным отрядом с «хатой – лабораторией». 1973 г.

**Fig. 6.** Again with a small mobile unit with a "hut-laboratory". 1973.

В июле 1973 года в Рейкьявике и его окрестностях проходило совещание по проблемам геохимии и геофизики рифтовых зон, в котором советские ученые, естественно, приняли участие. По оценке Евгения Евгеньевича совещание было очень представительным и интересным, был сделан ряд ценных докладов как по Исландии, так и по Африке, Красному морю, Аравии, Кипру, Рейнскому грабену. Встретились старые коллеги по Восточной Африке и наладились контакты с некоторыми другими видными специалистами по рифтогенезу из разных стран. Из письма Е.Е. Милановского жене З.В. Тимофеевой от 20 июля 1973 года: «Мы приехали на несколько дней в Рейкьявик для участия в заседании международной рабочей группы по рифтовой зоне. Логачев представлял на нем члена этой группы от СССР – Флоренсова (Николай Александрович Флоренсов), и поэтому сидит на всех заседаниях, а я был лишь

на тех, где проходили и обсуждались научные доклады... Все это очень интересно и полезно для меня. Собрались человек 10–12 (не считая нас и исландских ученых) ведущих специалистов по континентальным и межконтинентальным рифтам – как раз тем, которыми я занимаюсь. Встретил ряд старых „африканских“ знакомых..., а так же тех, кого знал только по работам или с кем постоянно обменивался статьями, – например Иллиэс (Юрген Хеннинг Иллиэс) из Карлсруе. С последним встретились взаимно очень тепло, как старые знакомые, и часа два обсуждали с ним проблемы рифтогенеза (он ведущий специалист по Рейнскому грабену и общим вопросам континентального рифтогенеза в Европе)».

Сразу после окончания совещания не теряя времени советские участники экспедиции продолжили полевые работы на севере Исландии. Из письма З.В. Тимофеевой от 3

августа 1973 года: «...Мы вернулись из 10-дневного маршрута на север 31-го вечером, а 1-го, в день приезда Белоусова, отметили мой день рождения. Собралась, кроме 2-х человек, вся экспедиция – 18 душ!... ..В эту последнюю поездку очень много и высоко опять лазили по горам – даже умудрились загореть, облез нос!

*В последние дни дул ураганный ветер, подчас совершенно сшибающий с ног... Чувствую себя очень хорошо. Работа прошла довольно удачно. Мы стояли одним лагерем с гинновскими стратиграфами – Гладенковым (Юрий Борисович Гладенков) и Ахметьевым (Михаил Алексеевич Ахметьев), палеомагнитиком Солодовниковым (Герман Михайлович Солодовников), жили с Логачевым в палатке (сейчас у нас маленькая арендованная легковушка-фольксваген)».*

В 1976 году Евгений Евгеньевич вновь вернулся к полевым работам в Исландии. К сожалению, в архиве сохранилось только одно письмо этого периода от 28 июля 1976 года, адресованное З.В. Тимофеевой: «Пишу тебе по пути из северного маршрута в Западную Исландию. Уже 8-ой день мы в поле. Живу в палатке и рыскаю по долинам, как 3–4 года назад. Кажется, что и не уезжал отсюда. Места эти очень милы и памятны по нашим работам с Логачевым.

*Погода в общем была вполне терпимая, а некоторые дни, например, вчерашний – просто великолепны. В целом удалось посмотреть и сделать в этом районе то, что мне хотелось, и в добавок – съездить за озеро Миватн, где в начале этого года произошло извержение... Это извержение было „миниапюрное“, почти „игрушечное“, но в чисто исландском стиле (трещинное), и познакомиться с ним было истинное удовольствие. Лавы еще теплые, местами даже горячие, из кратеров и трещин поднимаются мощные струи газов и паров, раздвинулись и появились новые трещины, словом все „живое“.*

*Сделал много слайдов, но день был пасмурный, и не знаю, как вышли совершенно черные лавы на сером фоне».*

Вот так, буднично в повседневных трудах и заботах рождалось учение о рифтогенезе, принесшее в дальнейшем мировую известность двум будущим академикам рифтогенеза единомышленникам и добрым друзьям Н.А. Логачеву и Е.Е. Милановскому.

## Литература

Белоусов В.В., Милановский Е.Е. О тектонике и тектоническом положении Исландии // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1975. Т. 50, вып. 3. С. 81–98.

Исландия и срединно-океанический хребет: Геоморфология. Тектоника. Москва : Наука, 1979. 207 с.

Милановский Е.Е. Академик Николай Логачев – мой друг и единомышленник / Николай Алексеевич Логачев. Новосибирск : изд-во СО РАН, 2007. С. 44–61.

Трифонов В.Г. Феномен геолога / Очерки по истории геологических знаний (серия основана в 1953 г. в ИГН СССР). Выпуск 35. Москва : изд-во ГЕОС, 2025. 219 с.

## References

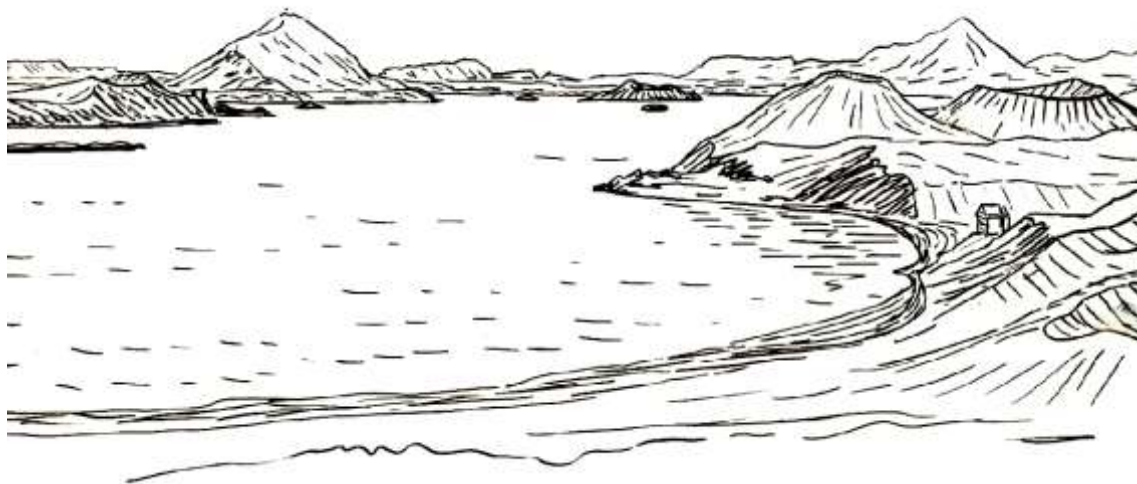
Belousov V.V., Milanovsky E.E. On the tectonics and tectonic position of Iceland // Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Geological series. 1975. Vol. 50, Issue 3. P. 81–98.

Iceland and the Mid-Ocean Ridge: Geomorphology. Tectonics. Moscow: Nauka, 1979. 207 p.

Milanovsky E.E. Academician Nikolai Logatchev – My friend and like-minded person / Nikolai Alekseevich Logatchev. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007. P. 44–61.

Trifonov V.G. The phenomenon of the geologist / Essays on the history of geological knowledge (series founded in 1953 at the USSR Institute of Geological Sciences). Issue 35. Moscow: GEOS Publishing House, 2025. 219 p.

Рисунки Е.Е. Милановского по Исландской экспедиции



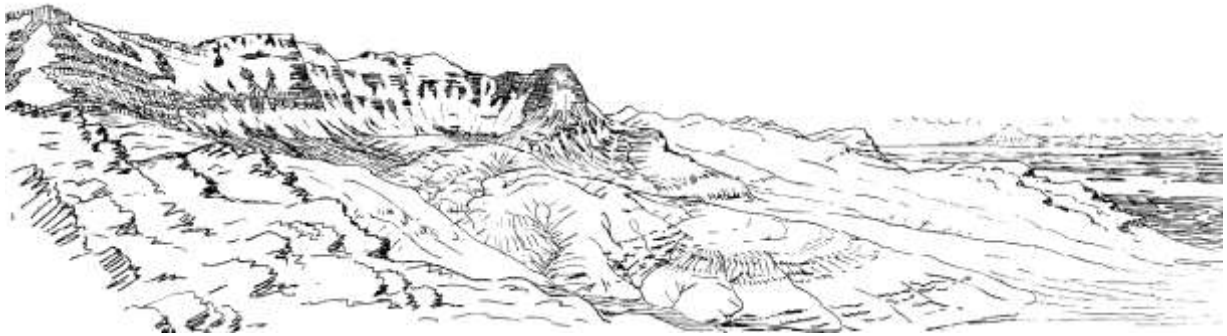
7. Озеро Миватн. На переднем плане позднеголоценовые шлаковые базальтовые «псевдократеры». Вид с юга, из пос. Скутустадир. 27.7.72.



8. Извержение вулкана на о-ве Хеймэй (Белая ночь 22-23 июня 1973 г.). Справа – раннеголоценовый шлаковый конус Хельгафедль, слева – позднеплейстоценовый субгляциальный вулкан Хеймаклеттур, видоизмененный абразией. Рисунок сделан из порта Вестманнейяр.



9. Панорама хребтов Брекуфьялл и Харнарфьялл от с.х. школы Хваннейри. Вид на юг и юго-запад. 31.VII.76.



10. Базальтовая гряда Скардхейди с северо-востока и востока (слева) и вулкан Снейфеллсйокул и залив Борнарфьёрдур (справа).



11. Горно-ледниковый альпийский экзарационный рельеф гряды Скардсхейди в Юго-Западной Исландии. Вид с севера. 9.VII. Полночь.



12. Пойма р. Баккадабур, впадающей в зал. Кроксфьордур. 8.VII.72.



13. Вздутия на поверхности голоценового базальтового покрова. Вид с севера. 1.VIII.72. Вулкан Хердубрейд, образованный под водой внутри позднеплейстоценового ледника.



14. Ледниковый «язык» Коффеллсйокулдль, спускающийся с ледникового щита Ватнайокулл к ВЮВ, почти до уровня моря (в заливе Ходнафьёрвур. 5.IX.72.



15. Ледниковый щит Хофсьёкулл. Вид с востока с подножья г. Тунгоавелльёкулл. Справа – столовая гора (люберг), обтесанная лопастями ледника. 3.VIII.72.



16. Каньон Йёкульсау-ау-Фьёдлум у водопада Хольфрагильсфост. Ступенчатый рельеф в горизонтально залегающих плейстоценовых базальтовых покровах. 26.7.73.



17. Окрестности оз. Миватн. Трещина Гийятайя в голоценовых базальтах (с теплой подземной рекой). Справа – сольфатары в районе Пейльяклид.



18. Вулкан Гекла (вид с запада) и долина р. Тьорса.

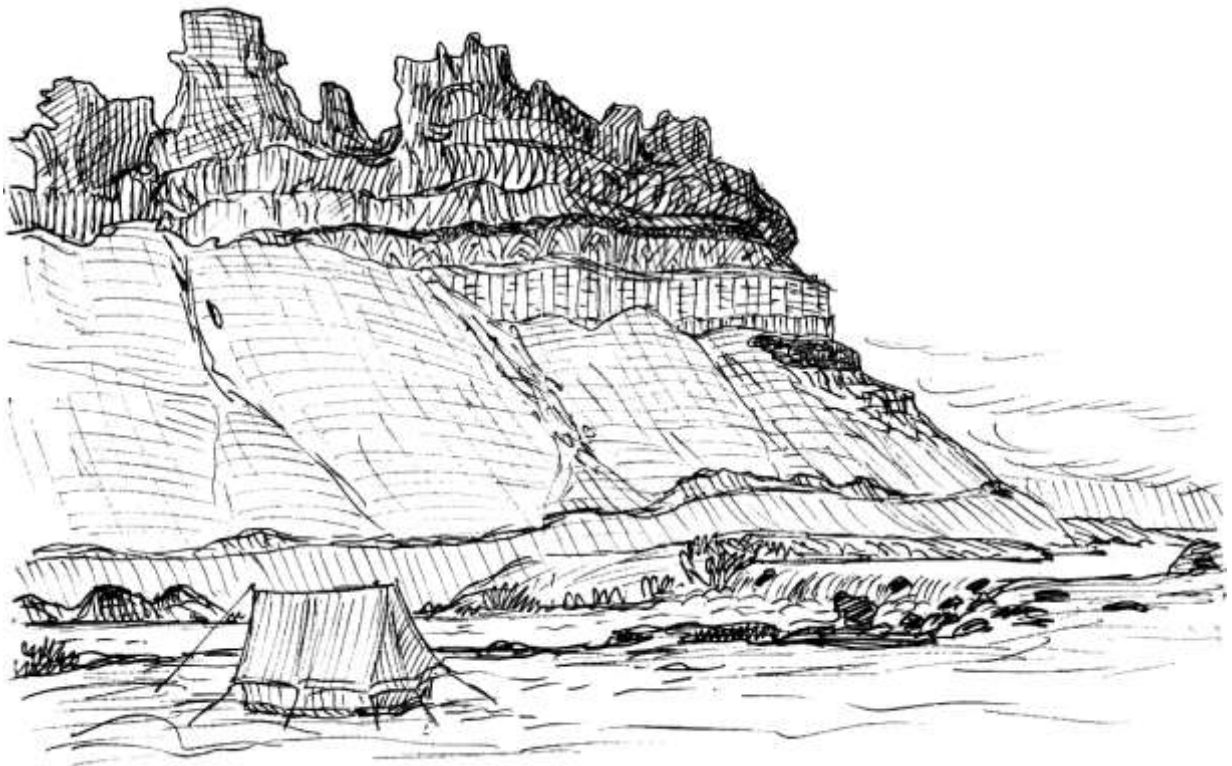


19. Кратерный ряд Лакагигар, образовавшийся при извержении 1783 г. Вид от вершины г. Лаки к юго-западу. 14.08.73.



г. Керлинг (122 м) – предполож. центр извержения базальтов с севера

20. Гора Керлинг – предполагаемый центр извержения четвертичных базальтов. Вид с севера.



21. 15 км северо-восточнее Киркйабоеклаустур. Толща чередования пирокластитов, лав и тиллитов позднего плиоцена-квартера (?). 13.08.73.

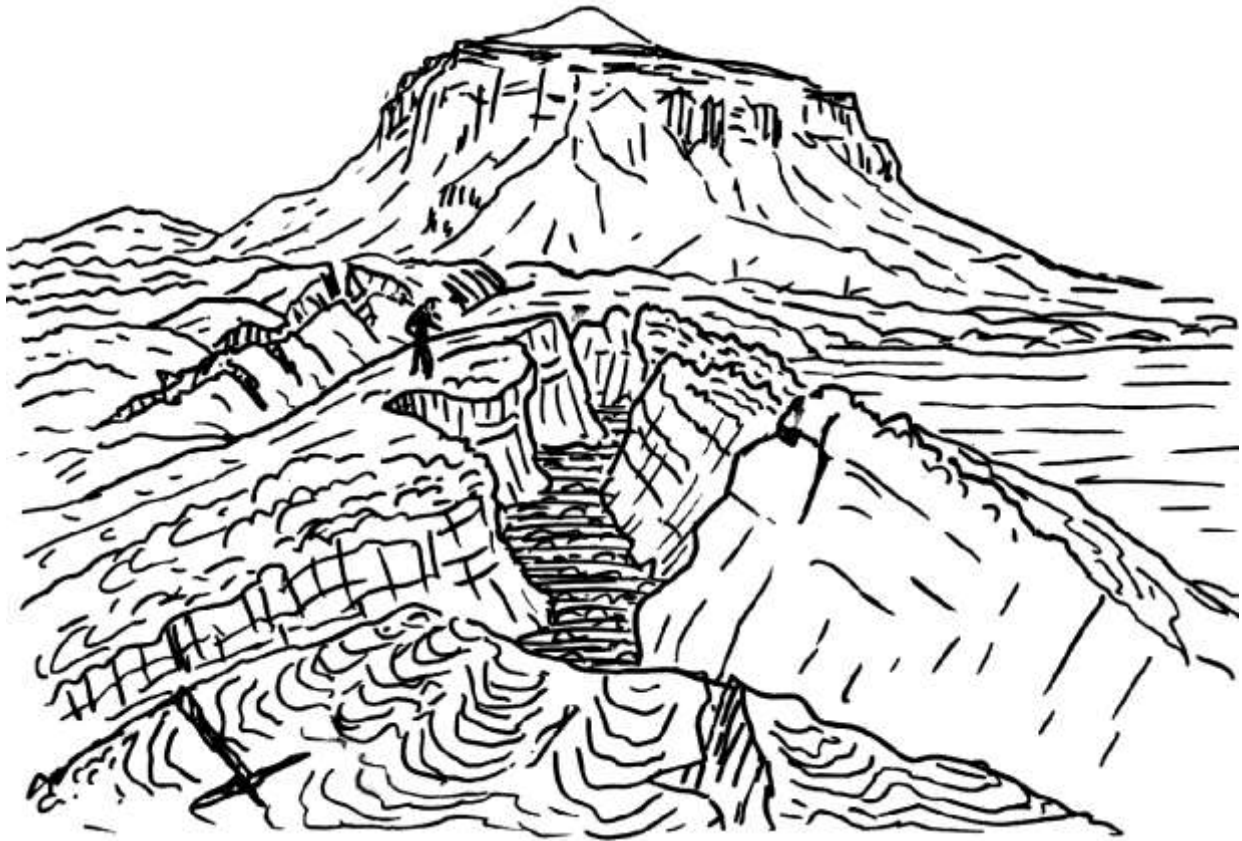


22. Лавовые потоки 1970 г. на северо-восточном склоне г. Гекла. Вид с севера. 11.08.73. Справа – шлаковый конус 1970 г.

*Рисунки, на которых изображены участники экспедиции (в основном Н.А. Логачев)*



23. Трог Калбакдалур на восточном побережье Северо-Западного п/о-ва. 1.VII.72. Вид с востока на запад.



24. Трещина в сводообразно приподнятой поверхности голоценового базальтового потока северо-восточнее вулкана Хердубрейд. 16.07.72.



25. Край голоценового лавого потока базальтов в северо-восточной части вулкана Хердубрейд. 18.07.72.



Вздутие на пов. лав. — фотока. Оу. С. в. г. Хердубрейд. 1.VIII.72.

26. Вздутие на поверхности голоценового лавового потока северо-восточнее г. Хердубрейд. 1.VIII.72.



27. П/о-в Тьёднес. 1.07.73.



28. Субмеридиональная цепь голоценовых шлаковых кратеров и конусов. Восточнее р. Йокулса, близ водопада Деттифосс. 26.07.



29. Вид к югу, севернее Хоф. Западное побережье п/о-ва Скаа. 30.VII.72. Позднеплиоценовые базальты.



30. Рисунки-наброски.



31. Н.А. Логачев в долине р. Лакса. Река Лакса в долине Лаксардалур, также называемая Лакса а Скага (Лакса в Скаги), родниковый ручей, который протекает через Лаксардалур в Скагафьордуре.



32. Приледниковое озеро Йукюльсаурлоун с айсбергами и край ледника Ватнаёкюдль.



33. Памятный конверт и открытка, посвященная матчу Фишер-Спасский.



34. Цветы Исландии из гербария Е.Е. Милановского.

*Фото из Исландской экспедиции*



35. Полевые работы в Исландии. Машина – хата-лаборатория.



36. Е.Е. Милановский.



37. Вулкан Хейнгидль. Березовая роща в национальном парке Тингведлир.



38. Район Элборг (п-ов Снайфельдснес).



39. Центральном плато в р-не Хейди. Гостевой дом в г. Сельфосс (13 км от Большого Гейзера).



40. С исландскими детьми (район г. Огур).



41. В теплице на вулканическом тепле в городе землетрясений и горячих источников Хверагерди.



42. На пароме в заливе Исафьярдардьюп (перевод с исландского «бездна ледяного фьорда»).



43. На фумарольном поле в районе оз. Миватн.



44. У обнажения миоценовых базальтов и у дайки долеритов.



45. На крутом склоне бухты Брайдавин (п-ов Тьернес).



46. Бухта Фурувик. Местная фауна (п-ов Тьернес).



47. Риолитовый массив близ пос. Кнорр (п-ов Снайфельдснес).





48. Полуостров Снайфельдснес. На fumarольном поле с исландскими студентами.



49. На лаве вулкана Лейрхньюкур в вулканической системе Крабла.

**Тверитинова Татьяна Юрьевна,**  
кандидат геолого-минералогических наук,  
Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова, геологический факуль-  
тет,  
доцент кафедры региональной геологии и исто-  
рии Земли,  
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта  
РАН,  
старший научный сотрудник лаборатории фун-  
даментальных и прикладных проблем тектони-  
ки,  
тел.: 495-939-2750,

email: tvertat@yandex.ru

**Tveritina Tatyana Yuryevna,**  
Candidate of Geological and Mineralogical Sci-  
ences,  
Lomonosov Moscow State University, Department of  
Geology,  
Associate Professor, Department of Regional Geol-  
ogy and Earth History,  
Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian  
Academy of Sciences. O.Yu. Schmidt Institute of  
Earth Physics, Russian Academy of Sciences,  
Senior Researcher, Laboratory of Fundamental and  
Applied Problems of Tectonophysics,  
tel.: 495-939-2750,  
email: tvertat@yandex.ru

**Гущин Александр Иванович,**

кандидат геолого-минералогических наук,  
Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова, геологический факуль-  
тет,

доцент кафедры динамической геологии,

тел.: (3952) 42-74-72,

email: alexmsu-824@mail.ru

**Gushchin Alexander Ivanovich,**

*Candidate of Geological and Mineralogical Sci-  
ences,*

*Lomonosov Moscow State University, Department of  
Geology,*

*Associate Professor of the Department of Dynamic  
Geology,*

*tel.: +7(495) 939-2081,*

*email: alexmsu-824@mail.ru*

---

## ОБЗОРЫ И РЕЦЕНЗИИ

УДК 550.8.; 551.2; 556

<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2026.1.156>

EDN: KLCXHW

### Слюдяной промысел в Прибайкалье в XVII–XIX веках

С.В. Снопков<sup>1,2</sup>, И.А. Богданова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия*

<sup>2</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Прибайкалье является одним из регионов России, содержащим в недрах богатые запасы слюды. Начало поисков и добычи слюды в Прибайкалье относится к 80-м годам XVII века. Уже в начале XVIII века в регионе действует несколько центров по добыче мусковита, который используется для окон. К началу XIX века слюдяные промыслы в Прибайкалье практически останавливаются, в связи с развитием стеклоделательного производства и падением спроса на мусковит. Слюдяная добыча возрождается в начале XX века с появлением новых направлений применения флогопита и мусковита.

**Ключевые слова:** *слюда, Прибайкалье, слюдяные промыслы, Витимские месторождения, Бирюсинские месторождения, Слюдянские месторождения*

### Mica Mining in the Baikal Region in the 17th–19th Centuries

S.V. Snopkov<sup>1,2</sup>, I.A. Bogdanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

<sup>2</sup>*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

**Abstract.** The Baikal area is one of the regions in Russia that contains rich deposits of mica. The search for and extraction of mica in the Baikal region began in the 1680s. By the early 1700s, there were several mica mining centers in the region, which were used for windows. However, by the early 1900s, the mica mining industry in the Baikal region had largely ceased due to the development of glass production and a decrease in demand for mica. The revival of mica mining occurred in the early 20th century with the emergence of new applications for phlogopite and muscovite.

**Keywords:** *mica, Baikal region, mica mines, Vitim deposits, Biryusinsk deposits, and Slyudyansk deposits*

#### Введение

Целью присоединения и освоения новых «землиц» в Сибири русскими землепроходцами было не только «приискание новых ясашных людишек» и сбор ясака, но и поиск полезных минеральных ископаемых.

Наиболее важными среди них в XVII веке была серебряная руда. Для поиска серебра была организована знаменитая «Серебряная экспедиция» Якова Хрипунова, представлявшая первое «масштабное мероприятие правительства, направленное на поиск и добычу

Статья получена: 14.12.2025; исправлена: 18.12.2025; принята: 20.12.2025.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Снопков С.В., Богданова И.А. Слюдяной промысел в Прибайкалье в XVII–XIX веках // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 1. С. 156–165. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.156. EDN: KLCXHW  
Article received: 14.12.2025; corrected: 18.12.2025; accepted: 20.12.2025.

FOR CITATION: Snopkov S.V., Bogdanova I.A. Mica mining in the Baikal Region in the 17th–19th centuries // Geology and Environment. 2026. Vol. 6, No. 1. P. 156–165. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.156. EDN: KLCXHW

*серебряной руды в Сибири»* (Бродников, 2019, с. 284–326).

Кроме серебра, Российская империя была заинтересована в открытии проявлений и других минеральных ресурсов. Одним из таких полезных ископаемых была слюда. Удивительный минерал, имеющий высокую спаянность и поэтому легко расслаивающийся на тонкие полупрозрачные листки. Прибайкалье стало одним из главных мест, где поиски слюды и её добыча проходили особенно интенсивно.

К сожалению, история становления этого промысла в Прибайкалье изучена слабо, и зачастую насыщена мифами и вымыслами. В городе Слюдянка, на юго-западной оконечности Байкала, в июне 2022 года на аллее у районной больницы появился памятный знак деятельности слюдянских горняков (рис. 1). Безусловно, это важное событие для города, история которого во многом связана с горнодобывающей деятельностью. Однако, надписи на этом памятном знаке вызывают, как минимум, удивление. Информационный щит рядом с памятным знаком сообщает, что начало горнодобывающей деятельности в Слюдянке относится к 1647 году, когда отряд первопроходцев Ивана Похабова прибыл сюда, чтобы «добывать слюду и охранять рудознатцев и добытчиков от эвенков».



**Рис. 1.** Памятный знак горнякам первопроходцам в городе Слюдянка (фото авторов).

**Fig. 1.** Memorial sign to pioneering miners in the city of Slyudyanka (photo by the authors).

И таких примеров, к сожалению, немало. Чаще всего причиной является

поверхностное знакомство с проблемой и невнимательное изучение исторических источников.

Целью исследования было изучение истории слюдяных промыслов в Прибайкалье. Для этого был проведен поиск информации по историческим документам XVII века, проанализированы результаты геологических и географических исследований и картографические материалы XVIII–XIX веков.

### **Освоение Прибайкалья русскими землепроходцами и зарождение слюдяного промысла**

Освоение южной части Восточной Сибири началось с 40-х годов XVII века, после строительства острогов на Ангаре и Лене: Илимский (1630 г.), Усть-Кутский (1631 г.), Братский (1631 г.).

Впервые русские попали на Байкал в 1643 г. (возможно немного раньше). Отряд Курбата Иванова с верховьев Лены перевалив Приморский хребет вышел на западный берег Малого моря, побывал на Ольхоне, а часть его добралась до северной оконечности озера (Румянцев, 1958). Вслед за ними через Байкал с целью поиска серебра и установления контактов с монгольскими князьями устремились в Забайкалье отряды казаков и служилых людей под командованием: Ивана Похабова (1644 г.), Василия Колесникова (1645 г.), Ивана Похабова (1647 г.), Ивана Галкина (1648 г.), Петра Бекетова (1652 г.) и др.

В 1645 г. «... велел государь наш царь и великий князь Алексей Михайлович всея Руси служилым людям идти из Енисейского острогу с атаманом с Василием Колесниковым и с служилыми людьми в новую землю на Байкал-озеро и проведать про серебряную руду и про серебро, где та серебряная руда есть, и как из той серебряной руды серебро делают, и в котором государстве или в которой земли, и какие люди у той серебряной руды живут, и как из той серебряной руды они серебро делают» — написано в одном из документов Приказной избы Енисейского острога (Сборник..., 1960, с. 187).

Закрепление за Российским государством территории Прибайкалья произошло в результате строительства ряда укрепленных поселений — острогов: Верхоленский (1641 г.),

Баргузинский (1648 г.), Балаганский (1654 г.), Иркутский (1661 г.), Селенгинский (1665 г.), Удинский (1666 г.), Еравненский (1667 г.), Индинский (1669 г.), Тункинский (1676 г.), Итанцинский (1679 г.), Ильинский (1688 г.), Бельский (1691 г.). Плюс два острожных зимовья – Ангарское (Верхнеангарское, Подкаменное) (1646 г.) и Култуцкое (1694 г.).

Вслед за закреплением местных племен за острогами и налаживанием системы сбора ясака (налога) в пользу российской казны, начинается исследование природных ресурсов территории.

Импульс горному промыслу в Прибайкалье дал указ Сибирского приказа, направленный в 1680 г. енисейскому воеводе князю Константину Щербатову. В Указе предписывалось «... про золотую руду, и про серебро, и про жемчуг, и камень, и медь, и олово, и свинец, и железо, и про бархаты, и атласы, и камки, и кость добрую рыба зуба, и про всякие узорочные товары, и про всякое угодыя спрашивать иноземцев подлинно и про то про все писать к нам великим государем в Москву и в Енисейск». Соответственно, енисейский воевода переправил этот «наказ» в Иркутский и приписанные к нему забайкальские остроги (Дополнения..., 1851, с. 315). В наказной памяти, отправленной иркутским воеводой Иваном Власовым в 1682 г. приказчику Селенгинского острога сыну боярскому Ивану Перфильеву, предписывалось: «проводывать всякими русскими людьми и иноземцам про золотую и про серебряную и про медную и оловянную и свинцовую руды и про слюду добрую и про селитреную землю» и указывалось, что «будет им за то великих государей жалованье» (Сборник..., 1960, с. 255).

В 1684 году иркутский письменный голова (помощник воеводы) Леонтий Кислянский отчитывается енисейскому воеводе о «проделанной работе» и отправляет образцы найденной «руды и краски и земли для селитряного опыта» (Дополнения..., 1851, с. 332).

Из отписок казаков и иркутских начальников, отправленных в Енисейский острог, следует, что за 1683–1684 года в Прибайкалье было обнаружено несколько мест проявления слюды:

- По донесению управителя Верхнеангарского острога пятидесятника казачьего Т. Щербакова, слюда была обнаружена у

озера Байкал, в урочище за Котюгиною рекой, в горе (Северный Байкал – *Авт.*). По словам Щербакова, «по его посылке» выломали полпуда слюды. Видимо о том же проявлении слюды поведал Кислянскому «обротчик» П. Микитин: «*есть слюда в камню, на берегу Байкала озера, а от усть Ангары реки только де версты с три, и чают де в том месте по признакам слюды добрые ...*» (Румянцев, 1958, с. 3–12).

- По сообщению иркутского казака Г. Кибирева «*ходил он из Иркутского острогу в Мунгалскую землю через Уру реку в прошлых годах, и по той Уре реке в утесе есть в камню слюдные многие слои во весь утес*» (Дополнения..., 1851, с. 327). (Река Ура — приток реки Эгийн-Гол, вытекающей из озера Хубсугул в Монголии – *Авт.*). В ответ на запрос иркутского письменного головы приказчик Тункинского острога Ю. Могилев отвечает, что спрашивал у проводников из «ясачных иноземцев» про слюду на реке Уре, «... *оне по Уре реке нигде слюды не ведают*», а казаков искать слюду неизвестно где за малолюдством людей в остроге он посылать не смеет (Сборник..., 1960, с. 270–271).

- По сообщению иркутского казака Мишки Епифанова «*есть де подле Байкала озеро, по ею сторону, между реками Большою и Малою Бугульдейками, слюда, а неподалеку от того места кочуют Верхоленского острогу ясаинные брацкие люди, и те ... люди ту слюду видают беспрестанно ...*» (Большая Бугульдейка – река Анга — *Авт.*). Однако точного расположения выходов слюды буряты не указали, так как у Епифанова не оказалось для них подарков. Леонтий Кислянский отправляет казачьего пятидесятника Анисима Михалева с отрядом на Бугульдейку, снабжая их подарками для местных жителей — «*сукно, олово и мишуру*», чтобы выведать, где находятся проявления руд, красок и слюды. Тому, кто укажет место, где имеется слюда или «*иные всякие узорочья*», было обещано освобождение от ясачного платежа «навечно». Но подарки не помогли. По отписке Михалева у р. Большой Бугульдейки слюды «*сыскать де не могли: а признак де слюдных есть много, лежат по горам и по буграм лоскутки слюдные в полэфимка и меньше и на степях де по многим же местом лежит мелкая слюда, что блески*

*светят, а пожилыцы де они не сыскали...»* (Дополнения..., 1851, с. 326–333).

• В это же время появляются первые сведения о находках слюды на реке Витим. Леонтий Кислянский отправляет из Иркутского острога на разведку Я. Турчанинова и В. Коротова, которые должны были в Баргузинском остроге взять подводы, людей и снаряжение для горных работ. Однако, приказчик Баргузинского острога Иван Перфильев не спешил выполнять предписание иркутского воеводы считая, что, если *«дать подводы и работных людей и вожся и снасть, чем им добывать краски, и они добудут ту краску, и будет выслуга Леонтью Кислянскому и Иркутским казакам, а не ему Ивану и не Баргузинским служилым людям»*. Приказчик призывал баргузинцев самим отправиться на добычу слюды и краски. В результате на Витим отправился отряд баргузинских служилых людей со снаряжением, а посланцам из Иркутского острога дали только подводы. В результате Турчанинов и Коротов все же привезли в Иркутск образцы краски, а про слюду в донесениях не упоминается (Дополнения..., 1851, с. 332).

Начало 1690-х годов можно считать началом слюдяного промысла на территории Прибайкалья, в том числе, реке Витим.

В августе 1689 г. якутский воевода Петр Зиновьев выдает «Наказную память», по которой служилый казак Афанасий Пущин должен *«... сыскать и промыслить по Витимуреке слюды доброй и какова получица»*. В том же документе указывается, что *«В нынешний 7197 год (1689 г. – Авт.) казак Петрушка Дураков сыскал слюду на Витиме-реке и привез в Якутский город и отдал Великому Государю в казну»* (Верхотуров, 2000, с. 10–11).

В мае 1704 г. «несколько вкладчиков» Киренского монастыря подали челобитную илимскому воеводе Федору Каршанову с просьбой разрешить им добывать на Витиме и впадающих в него ручьях слюду. Воевода разрешение выдал. В последующие годы на Витиме и реке Мама уже действовало

несколько рудников. В 1707 г. добыча мамской листовой слюды уже составляла 1270 пудов (20 т) (Серебряник, 2013, с. 448).

Иркутское воеводство также стремилось участвовать в «слюдяном промысле». В июне 1691 г. Леонтий Кислянский, пребывающий уже в должности иркутского воеводы, дает распоряжение Селенгинскому приказчику Федору Леонтьеву, о том, что тот снабдил «монгольского выходца Дайбун-дабунана» из Ильинской слободы «служилыми людьми», кирками или ломками и отправил его для «слюдяного промысла» на речку, где он слюду нашел. Приказчик монгола не отпустил, так как отправлялся в поход вверх по Селенге и свободных людей в остроге не оставалось. Селенгинский десятник Евсеев пообещал воеводе, что в скором будущем найдет людей и отправит их на слюдяной промысел (Отписка, 1691). Куда должны были отправиться промысловики и чем закончилась эта история неизвестно.

В 1697 г. селенгинские и удинские казаки в челобитной, описывающей злоупотребления иркутского воеводы Афанасия Савелова, в том числе, пишут, что воевода *«отравлял на соболиные, слюдяные и рыбные промыслы служилых людей, и дощаники и припасы и ломы давал государевы ... добыли слюды коробов с 10 и поделили её пополам»* (Сборник..., 1960, с. 431–432). По-видимому, речь идет о слюдяным месторождениях на севере Байкала или на реке Витим.

В 1717 г. китайский посланник Ту Ли-Чэнь, пребывая в Удинске, писал: *«... увидели мы одного рода камень плоской как ладонь, весь в слоях, слои сдираются очень тонки, и при том светлы как стекло или флюст. Русские употребляют оной на оконницы, Мы спрашивали откуда камень такой выходит, сказали нам — из гор, кои на берегах реки Фойтины (возможно, Витим), ... протекающей мимо Ангарской вершины, коя на восточной стороне города Баргузина, ... говорили при сем, что употребляют камень оной на оконницах в Москве, Тобольске и во многих прочих местах»* (Путешествие..., 1782, с. 38).



**Рис. 2.** Фрагмент Чертежа земли Иркутского города. Указание о слюдяном промысле на северной оконечности Байкала.

**Fig. 2.** A fragment of the Map of the Land of the Irkutsk City. Information about the mica industry on the northern tip of Lake Baikal.



**Рис. 3.** Фрагмент Чертежа земли Иркутского города. Указание о слюдяном промысле на южной оконечности Байкала.

**Fig. 3.** A fragment of the Map of the Land of the City of Irkutsk. Information about the mica industry on the southern tip of Lake Baikal.

Информация о слюдяных промыслах Прибайкалья присутствует на «Чертеже земли Иркутского города», помещенного в Чертежной книге Сибири тобольского картографа

С.У. Ремезова (Атлас, 1701, с. 20). На северной (рис. 2) и южной (рис. 3) оконечности озера Байкал картограф поместил указания о добыче слюды. Возможно, первое из них соответствует Богучанскому месторождению мусковита, второе – Слюдянскому месторождению флогопита.

### **Сведения о проявлениях слюды в отчетах академических экспедиций XVIII века**

1730–1790-е года это время начала научного изучения Прибайкалья экспедициями Академии наук Российской империи. Одной из задач этих исследований было описание геологии и полезных ископаемых территории. Большая работа по систематизации знаний была выполнена академиком Владимиром Афанасьевичем Обручевым, подготовившим пятитомное издание «История геологического исследования Сибири», в котором, в том числе, отражена история изучения проявлений слюды и её добычи.

В 1733–1742 годах во время своего путешествия по Сибири в Прибайкалье проводил исследования выдающийся немецкий натуралист, профессор химии и натуральной истории Иоганн Георг Гмелин. В том числе, он совершил путешествие по Витиму до устья реки Мамы, где осмотрел и описал копи белой слюды (Обручев, 1931, с. 78). В 1767 году по данным собранным И. Гмелиным его племянник Самуил Гмелин подготовил трактат о русской слюде, в котором привел описание месторождений слюды по Витиму, описал её сорта и способы добычи, условия залегания гнезд слюды в «твердой белой кварцевой породе». Кроме того, в книге сообщается о нахождении слюды «в меньшем количестве и не такого качества» по р. Киренге и Верхней Ангаре, но без точного указания места (Обручев, 1931, с. 79–80).

В 1772–1773 годах на территории Прибайкалья работала экспедиция Академии наук, возглавляемая выдающимся естествоиспытателем, академиком Пётром Симоном Палласом. В составе экспедиции находился профессор минералогии Императорской академии наук Иоганн Готтлиб Георги, который по поручению Палласа предпринял самостоятельное путешествие вокруг Байкала. В 1772 г. И.Г. Георги обследовал берега озера от

устья реки Бугульдейка до устья Верхней Ангары, а затем до устья Селенги. Во время этого путешествия им было описано «месторождение слюды в Слюдяной губе» (Богучанское месторождение мусковита — Авт.) (Обручев, 1931, с. 82–83).

Сам П.С. Паллас в 1772 году на пути из Красноярска в Иркутск упоминает копи слюды по речкам Шельме, Соби и Нереху между Бирюсой и Удой. «... В жилах жирного кварца пластины слюды достигают часто 3 четвертей» (Обручев, 1931, с. 71) (¼ аршина — примерно 18 см — Авт.). В ноябре 1778 года Эрик Лаксман во время поездки к пещере на р. Уде, посетил разработки слюды на ручье Гутар, притоке р. Бирюсы (Лагус, 2015, с. 212). Эрик Густав Лаксман — российский учёный-натуралист и путешественник шведского происхождения, член Петербургской Академии наук. По сообщению знаменитого геолога, специалиста по нерудным ископаемым профессора А.А. Якжина, Бирюсинские месторождения слюды в Восточных Саянах становятся известны с 1770-х годов (Якжин, 1944, с. 34). Таким образом, Паллас и Лаксман посетили бирюсинские слюдяные копи практически в тот период, когда они были открыты и начали разрабатываться.

В 1784–1787 годах Эрик Лаксман проводит исследование южной части байкальского побережья. Это были первые научные исследования этой территории. На юго-западной оконечности Байкала Лаксман обнаруживает новый богатейший горнорудный район. За несколько поездок он открывает десятки минералов, которые ранее не были известны в Прибайкалье. Более десятка последующих лет известные минералоги определяли и описывали минералы коллекции, собранной Эриком Лаксманом (Обручев, 1931, с. 86, 94, 95, 99). В том числе, в 1784 г. Лаксман описывает мощные (до 8.5 м — Авт.) кварцевые жилы на берегу реки Слюдянка, в которых среди других минералов присутствует черная чешуйчатая слюда и «зеленые слюдяные кристаллы» (Лагус, 2015, с. 173).

Составители сводки об уникальных и ценных геолого-минералогических объектах Прибайкалья «Геологические памятники Байкала» сообщают, что «Слюдянка ... является одним из старейших в Восточной Сибири горно-добывающих районов. В

историческом плане на первом месте, безусловно, стоит флогопит — слюда, давшая название городу. Первые ее разработки относятся ко второй половине XVIII века (иногда приводится и точная дата — 1762 г.). О целях и объемах добычи в то время можно только предполагать ...» (Геологические..., 1993, с. 23–25). Однако, выглядит странным, что Эрик Лаксман, впервые описавший минеральное богатство реки Слюдянка, не упоминает о каких-либо разработках минерального сырья в этом районе.

### **Новые сведения о проявлениях и добыче слюды в XIX – начале XX века**

Следует отметить, что к началу XIX века в Прибайкалье были открыты и уже частично разрабатывались месторождения всех основных слюдоносных районов этой территории: Мамско-Витимского, Бирюсинского (Восточные Саяны), Северобайкальского и Слюдянского (юго-западная оконечность Байкала).

При анализе истории геологических исследований видно, что интерес исследователей полезных ископаемых к слюдяным проявлениям в XIX веке резко падает по сравнению с предшествующим столетием. Причину этого А.А. Якжин объясняет так: «... постепенно спрос на слюду уменьшался, и к концу XVIII в. слюдяное дело начало замирать. Значительное развитие стеклоделия в России вскоре совершенно вытеснило слюду с рынка, так как многого употребления её, кроме как остекления окон, в то время не знали. Поэтому слюдяной промысел на всех месторождениях Сибири к середине XIX в. был окончательно заброшен и забыт» (Якжин, 1944, с. 34).

Действительно, в геологических отчетах XIX века внимания слюде уделяется немного. То, что по реке Витиму в трех днях пути от его устья находятся «слюдянные ломки», и самые большие листы добываемой слюды имеют аршин (71 см – Авт.) сообщал Геденшторм в «Отрывках о Сибири», напечатанных в 1830 г. (Обручев, 1933, с. 104). Также о слюдяных промыслах по р. Витим сообщает в своих донесениях о работе Сибирской экспедиции Шварц. Он указывает, что добыча слюды происходит в двух местах на Витиме – «в 30 верстах от устья и в 3 от берега», а

ещё на реке Большая Мама в 40 в. от её устья (Обручев, 1933, с. 176). В начале XX века экспедиция в мамскую тайгу для обследования старых слюдяных разработок предпринимается Зиксом. «Он указывает, что хребты района сложены кристаллическими сланцами с жилами гранита и пегматита. В последних имеются крупные месторождения слюды: на Согдиодонском гольце, на р. Каменке (флогопит) и на р. Слюдянке» (Обручев, 1937, с. 331). Описание месторождения слюды на Слюдянском хребте на реке Бирюсе дает в 1899 г. Краузе в отчете Иркутскому горному управлению (Обручев, 1937, с. 250).

Новой информацией в изучении слюдоносности Прибайкалья стало:

- описание Моллесоном в 1911 г. слюдяных сланцев на водоразделе рек Иро и Чикой в прилегающей к Забайкалью части Монголии (Обручев, 1937, с. 285);
- сообщение Котульского о присутствии слюды в вершине реки Суво в Баргузинском округе в отчетах об исследованиях в 1912–1913 гг. (Обручев, 1937, с. 335–336);
- сообщение о находках слюды Миткевичем-Волчанским в 1913 г. в междуречии Кутимы и Окунайки, и на р. Холодной (Обручев, 1937, с. 336).

### **К вопросу о начале разработки слюды на реке Слюдянка**

Наиболее неопределенным является вопрос об открытии слюды и начале её разработок на юго-западной оконечности Байкала. Слюдянский горнорудный район до середины XX века являлся в Советском Союзе единственным, где производилась в большом объеме добыча флогопита – почти 100 % добычи. Длина некоторых жил достигала 120 м, а мощность – 20 м. Добывались очень крупные пластины флогопита хорошего качества. Насыщение флогопитом жильных тел было очень высокое – до нескольких сот килограммов на 1 м<sup>3</sup> жильной породы (Якжин, 1944, с. 37).

Как указывалось выше, самые ранние сообщения о слюде юга Байкала относятся к концу XVII века. Возможно, это напрямую связано со строительством в 1694 году на юге Байкала Култушного острожного зимовья, в котором находилось до 20 казаков (Снопков,

2018, с. 31). Следующий период изучения южного Прибайкалья связан с появлением на юге Байкала в 1744 году Култуцкой деревни из трех домов (Снопков, 2018, с. 34). О том, добывалась ли в это время слюда на реке Слюдянка остается открытым. Надворный советник Енисейского губернского правления Алексей Мартос, проезжая в 1823 году через Култук сообщает, что местные жители принесли ему «для любопытства несколько кусков ... худой зеленой слюды ...» (Мартос, 1827, с. 34).

Первым исследователем, описавший минеральные богатства южного Прибайкалья, как указано выше, безусловно был Эрик Лаксман, который в 1784–1787 годах не только описал многие минералы и горные породы этой части байкальского берега, но и организовал горные работы по поиску коренных месторождений лазурита. Собранная Лаксманом коллекция минералов и горных пород вызвала большой интерес многих минералогов, что отразилось в многочисленных научных статьях (Обручев, 1931; Обручев, 1933; Обручев, 1934). При этом Лаксман не упоминает о каких-либо старых горных выработках. Вслед за Лаксманом ряд исследователей (Семивский, Мор, Щукин, Коттрель, Меглицкий, Кокшаров, Еремеев и др.) при описании минералов Слюдянки также ничего не сообщают о разработках слюды (Обручев, 1933; Обручев, 1934).

О «целой горе» слюды по р. Слюдянка указывается в описании Байкала, составленном в 1870 г. Сгибневым (Обручев, 1933, с. 194). В 1878 г. описание и измерение ряда кристаллов слюды с р. Слюдянка были выполнены Кокшаровым (Обручев, 1933, с. 201). В отчете о геологических исследованиях за 1889 год В.А. Обручев дает описание месторождения слюды в район р. Слюдянки (Обручев, 1934, с. 239).

Впервые именно о «разработках слюды» по реке Слюдянке сообщает в 1831 г. Злобин, описывая апатит и байкалит из пади Улунтуй. (Обручев, 1933, с. 141–142). В 1862 г. при описании образцов апатита, про «слюдяные копи» реки Слюдянка пишет Пузыревский (Обручев, 1934, с. 183). Сложно понять о каких выработках идет речь. Возможно, эти копи – следы горных выработок горной партии Эрика Лаксмана.

Вопрос о том, почему слюдянокое месторождение флогопита вплоть до начала XX века оставалось малоисследованным и не разрабатывалось, решается достаточно просто: «В те времена добывался только мусковит. Лишь он обладает прозрачностью и встречается в кристаллах значительного размера. Другие слюды, как, например, флогопит, биотит, лепидолит, вермикулит и т.п. обычно окрашены в различные темные цвета и поэтому не добывались» (Якжин, 1944, с. 33).

### Заключение

В результате анализа собранных сведений о поисках, изучении и добыче слюды в Прибайкалье можно сделать следующие выводы:

1. В 1680-х годах в Прибайкалье начинаются массовые поиски слюды-мусковита, которая представляла большую ценность как материал для окон. За два-три десятилетия русскими землепроходцами были найдены и начались разрабатываться основные месторождения слюдяной базы региона. Основная добыча мусковита происходила на Мамско-Витимских и Бирюсинских месторождениях.

2. Во второй половине XVIII века интерес к слюде начинает уменьшаться в связи с бурным развитием стекольного производства. Соответственно, интерес к изучению слюд в XIX веке также падает, что хорошо видно из истории геологического изучения Восточной Сибири.

3. Возникновение новых направлений применения слюды в конце XIX – начале XX века, в первую очередь, электротехники, вновь пробудили интерес к поиску и разработке месторождений мусковита и флогопита. Именно в этот период начинается массовый поиск, изучение и разработка Слюдянокских месторождений флогопита (юго-западная оконечность Байкала) и Северобайкальских месторождений мусковита.

### Литература

Атлас Сибири Семена Ремезова, Тобольск, 1701 г. Российская государственная библиотека (РГБ). Код документа: 000199\_000009\_004274925.

Бродников А.А. Енисейск и Енисейский уезд (очерки из истории XVII века): монография. Новосибирск : Новосиб. гос. ун-т. 2019. 382 с.

Верхотуров М.И. и др. Годы и люди слюдяной Мамы: история Мамско-Чуйской экспедиции. Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2000. 324 с.

Геологические памятники Байкала. Новосибирск : ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. 160 с.

Дополнения к актам историческим, т. 10, № 77, Санкт-Петербург : 1851.

Лагус В., Эрик Лаксман: его жизнь, путешествия, исследования и переписка. Москва : Книга по Требованию, 2015. 495 с.

Мартос А. Письма о Восточной Сибири. Москва : Университетская типография, 1827. 291 с.

Обручев В.А. История геологического исследования Сибири. Период второй (1801–1850 годы). Ленинград : Издательство академии наук СССР, 1933. 230 с.

Обручев В.А. История геологического исследования Сибири. Период первый – обнимающий XVII и XVIII века (Гмелин, Паллас, Георги). Ленинград : Издательство академии наук СССР, 1931. 176 с.

Обручев В.А. История геологического исследования Сибири. Период третий (1851–1888). Ленинград : Издательство академии наук СССР, 1934. 395 с.

Обручев В.А. История геологического исследования Сибири. Период четвертый (1889–1917). Ленинград : Издательство академии наук СССР, 1937. 213 с.

Отписка десятника селенгинских казаков Д. Евсевьева иркутскому воеводе Л.К. Кислянскому о нехватке в Селенгинске служилых людей для сопровождения «монгольского выходца» Дайбун-табуна к слюдяному промыслу. 1691 г. // РГАДА, ф. Иркутская приказная изба, оп. 1, д. 228, лл. 4-5. (Воспроизводится по «Русско-Монгольские отношения 1685-1691. Сборник документов. Москва : 2000.)

Путешествие китайского посланника к Калмыцкому Аюк Хану. Перевод с манжурского на российский язык коллегии иностранных дел надворный советник Алексей Леонтьев. Санкт-Петербург : Императорская Академия наук. 1782.

Румянцев Л.И. Русские источники XVII в. о Байкале // Краеведческий сборник. 1958. Выпуск 3. С. 3–12.

Сборник документов по истории Бурятии XVII век. Выпуск 1. Улан-Удэ : 1960. 461 с.

Серебряник И.А., Ястребов К.Л. Федорова С.В. Становление слюдяного промысла в Сибири

(до 1917 г.) // Вестник ИрГТУ, № 11 (82). Иркутск : 2013. С. 446–450.

Снопков С.В. Хобта А.В. Култук. Историческая хроника от глубины веков до начала XX века. Иркутск : ОАО «Репроцентр А1», 2018. 234 с.

Якжин А.А. Полезные ископаемые Иркутской области и их использование. Научно-популярный очерк. Иркутск : ОГИЗ Иркутское обл. изд-во, 1944. 80 с.

## References

Additions to the Historical Acts, vol. 10, No. 77, St. Petersburg: 1851.

Atlas of Siberia by Semyon Remezov, Tobolsk, 1701. Russian State Library (RSL). Document code: 000199\_000009\_004274925.

Brodnikov A.A. Yeniseisk and the Yenisei District (essays from the history of the 17th century): monograph. Novosibirsk: Novosibirsk State University. 2019. 382 p.

Collection of Documents on the History of Buryatia in the 17th Century, Issue 1. Ulan-Ude: 1960. 461 p.

Geological Monuments of Lake Baikal. Novosibirsk: Nauka Publishing House, 1993. 160 p.

Lagus V., Erik Laxman: His Life, Travels, Research, and Correspondence. Moscow: Book on Demand, 2015. 495 p.

Letter from D. Evseviev, a sergeant of the Selenginsk Cossacks, to L.K. Kislyansky, the governor of Irkutsk, about the lack of servicemen in Selenginsk to accompany the "Mongolian immigrant" Daibun-tabunan to the mica mine. 1691 // RGADA, f. Irkutsk Order Office, op. 1, d. 228, ll. 4-5. (Reproduced from "Russian-Mongolian Relations 1685-1691. Collection of Documents. Moscow: 2000.)

Obruchev V.A. History of Geological Exploration of Siberia. Period Four (1889-1917). Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1937. 213 p.

Obruchev V.A. History of Geological Research in Siberia. The first period covers the 17th and 18th centuries (Gmelin, Pallas, and Georgi). L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1931. 176 p.

Obruchev V.A. History of Geological Research in Siberia. The Third Period (1851-1888). Leningrad: USSR Academy of Sciences Publishing House, 1934. 395 p.

Obruchev V.A. History of the Geological Exploration of Siberia. Period Two (1801-1850). L.:

Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1933. 230 p.

Rumyantsev L.I. Russian sources of the 17th century about Lake Baikal // Local History Collection. 1958. Issue 3. P. 3–12.

Srebryanyk I.A., Yastrebov K.L. Fedorova S.V. The Formation of the Mica Industry in Siberia (before 1917). // Bulletin of Irkutsk State Technical University, No. 11 (82), Irkutsk: 2013. P. 446–450.

Snopkov S.V. Khobta A.V. Kultuk. Historical Chronicle from Ancient Times to the Beginning of the 20th Century. Irkutsk: OAO Reproncenter A1, 2018. 234 p.

The Journey of the Chinese Envoy to the Kalmyk Ayu Khan. Translated from Manchu into Russian by the Collegium of Foreign Affairs, Court Counsellor Alexey Leontyev. St. Petersburg: Imperial Academy of Sciences, 1782.

Verkhoturov M.I. and others. The years and people of the micaceous Mother: the story of the Mamsko-Chuiskaya expedition. Irkutsk: Publishing House of IrSTU, 2000. 324 p.

Yakzhin A.A. Mineral Resources of the Irkutsk Region and Their Use. Popular Science Essay. Irkutsk: OGIZ Irkutsk Regional Publishing House, 1944. 80 p.

**Снопков Сергей Викторович,**

кандидат геолого-минералогических наук, доцент,

664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1, Иркутский государственный университет,

доцент,

664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 91,

Сибирская школа геонаук Иркутский национальный исследовательский технический университет,

научный сотрудник,

email: snopkov\_serg@mail.ru

**Snopkov Sergey Viktorovich,**

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor,

Karl Marx st., 1, Irkutsk, 664003, Russia,

Irkutsk State University,

Associate Professor,

91 Lermontov st., Irkutsk, 664033, Russia,

Siberian School of Geosciences Irkutsk National Research Technical University,

Researcher,

email: snopkov\_serg@mail.ru

**Богданова Ирина Анатольевна,**

664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,

Иркутский государственный университет,

старший преподаватель,

email: irinairk@gmail.com.

**Bogdanova Irina Anatolyevna,**

Karl Marx st., 1, Irkutsk, 664003, Russia,

Irkutsk State University,

Senior lecturer,

email: irinairk@gmail.com

## ЭКСПЕДИЦИИ

УДК 911.52(079.3)

<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2026.1.166>

EDN: KTVUDN

### The First Geological Field Training of Students from Peking University in the Baikal Area: Cenozoic Rifting in a Long-Evolved Lithosphere

S.V. Rasskazov<sup>1,2</sup>, S.N. Kovalenko<sup>1</sup>, S.V. Snopkov<sup>1,3</sup>, Bo Zhang<sup>4</sup>, Jinxian Yao<sup>4</sup>, Ming Tang<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia*

<sup>3</sup>*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

<sup>4</sup>*Peking University, Beijing, People's Republic of China*

**Abstract.** This article briefly describes the content of the first field educational geological training of students from Peking University that took place from August 31 to September 7, 2025 in the Tunka Valley and on the northwestern coast of Lake Baikal, where the lithosphere generated during the entire time span of the Earth's evolution, from the Hadean to the Holocene. The objects of observation were Precambrian, Lower Paleozoic, and Mesozoic sedimentary, igneous, and metamorphic rocks of the Siberian paleocontinent and the accreted Hamar-Daban terrane. During the field excursion, the students observed the consequences of Cenozoic rifting that developed in the interaction zone of these tectonic units (along the suture of the Main Sayan Fault) and adjacent areas.

**Keywords:** Lake Baikal, Tunka Valley, Rocks, Precambrian, Lower Paleozoic, Mesozoic, Siberian paleocontinent, Hamar-Daban terrane, Main Sayan Fault, Cenozoic rifting

### Первая полевая геологическая практика студентов Пекинского университета в Прибайкалье: Кайнозойский рифтогенез в длительно эволюционировавшей литосфере

С.В. Рассказов<sup>1,2</sup>, С.Н. Коваленко<sup>1</sup>, С.В. Снопков<sup>1,3</sup>, Бо Чжан<sup>4</sup>, Цзиньсянь Яо<sup>4</sup>, Минь Тан<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия*

<sup>3</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*

<sup>4</sup>*Пекинский университет, г. Пекин, Китайская Народная Республика*

**Аннотация.** Кратко освещается содержание первой образовательной геологической практики студентов Пекинского университета, состоявшейся с 31 августа по 7 сентября 2025 года в Тункинской долине и на СЗ побережье оз. Байкал, где литосфера формировалась во временном диапазоне всей эволюции Земли, от гадея до голоцена. В качестве объектов наблюдений

Article received: 17.03.2026; corrected: 30.03.2026; accepted: 03.04.2026.

FOR CITATION: Rasskazov S.V., Kovalenko S.N., Snopkov S.V., Zhang Bo, Yao Jinxian, Tang Min. The first field geological practice of Peking University students in the Baikal Region: Cenozoic rifting in the long-evolution lithosphere. 2026. Vol. 6, No. 1. P. 166–188. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.166. EDN: KTVUDN

Получена 17.03.2026; исправлена 30.03.2026; принята 03.04.2026

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Рассказов С.В., Коваленко С.Н., Снопков С.В., Чжан Бо, Яо Цзиньсянь, Тан Минь. Первая полевая геологическая практика студентов Пекинского университета в Прибайкалье: Кайнозойский рифтогенез в длительно эволюционировавшей литосфере // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 1. С. 166–188. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.166. EDN: KTVUDN

служили осадочные, магматические и метаморфические породы докембрия, нижнего палеозоя и мезозоя Сибирского палеоконтинента и аккретированного к нему Хамардабанского террейна. В ходе практики студенты наблюдали последствия кайнозойского рифтогенеза, получившего развитие в зоне взаимодействия этих тектонических единиц (в шовной зоне Главного Саянского разлома) и на сопредельных территориях.

**Ключевые слова:** озеро Байкал, Тункинская долина, горные породы, докембрий, нижний палеозой, мезозой, Сибирский палеоконтинент, Хамардабанский террейн, Главный Саянский разлом, кайнозойский рифтогенез

## Introduction

The Baikal region – a representative territory for demonstrating rocks and geological processes covering much of the Earth’s evolution – serves for educational geological trainings of students from the Geological Faculty of Irkutsk State University (ISU) that have been held since the 1950s every year for 1.5 months. From the existing experience, the first geological training of Peking University students on the most indicative geological objects of the territory was arranged in 2025, from August 31 to September 7. For this internship, special review articles were published (Rasskazov et al., 2025; Kovalenko, 2025). The following is a chronology of the internship events with brief geological comments.

## August 31. The beginning

Chinese teachers and students, arrived in Irkutsk, were accommodated in the Akademicheskaya Hotel.

**September 1. Introduction to the excursion objects, geological observations on the southwestern shore of Lake Baikal – marbles of the Slyudyanka metamorphic complex**

In the morning, Chinese teachers and students visited the Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences and listened to a lecture on geology and stratigraphy of the Late Precambrian in the south of the Siberian paleocontinent delivered by the Institute researcher T.V. Donskaya and an introductory review of the excursion objects presented by S.V. Rasskazov (Fig. 1).



**Fig. 1.** Distribution of objects for the Field Geological Excursion of teachers and students from Peking University in 2025.

**Рис. 1.** Распределение объектов полевой геологической экскурсии преподавателей и студентов Пекинского Университета в 2025 г.



**Fig. 2.** Upper level of the Pereval quarry for the extraction of low-magnesia marbles for cement production, photo 0732-33.

**Рис. 2.** Верхний уровень карьера Перевал по добыче низкомагнезиальных мраморов для производства цемента, фото 0732-33.



**Fig. 3.** Lower level of the Pereval quarry for the extraction of low-magnesia marbles for cement production, photo 0737-40.

**Рис. 3.** Нижний уровень карьера Перевал по добыче низкомагнезиальных мраморов для производства цемента, фото 0737-40.

After lunch, the participants traveled by bus from Irkutsk to the Pereval marble quarry, located on the shore of Lake Baikal, to observe marbles of the Slyudyanka metamorphic complex of the Khamar-Daban terrane (Figs. 2, 3). The latter was accreted to the south of the Siberian paleocontinent in the Early Paleozoic. The accretion time was constrained by the age of granulite facies metamorphism, accompanied by

the intrusion of syncollisional granites about 488 Myr ago.

By the end of the day, the participants were accommodated in the guest house Baikal Paradise of the Kultuk village.

*September 2–3. Structural suture of the Main Sayan fault between the Siberian paleocontinent and the Khamar-Daban terrane,*

*Cenozoic structures developed along this suture, Cenozoic volcanism*

In order to observe the basement rocks of the Siberian paleocontinent, affected by

metamorphism of granulite facies, the participants went on a walking route from the guest house along the Circum-Baikal Railway, laid on the northwestern coast of Lake Baikal (Fig. 4).



**Fig. 4.** Outcrop of gneisses of the Sharyzhalgai complex of the Lower Archean in the basement of the Siberian paleocontinent, Circum-Baikal Railway, photo 0838.

**Рис. 4.** Обнажение гнейсов шарьжалгайского комплекса нижнего архея в фундаменте Сибирского палеоконтинента, Кругобайкальская железная дорога, фото 0838.

The participants observed rocks of dynamometamorphism (mylonites, pseudotachylites) in the Main Sayan Fault – the suture between the Khamar-Daban terrane and the Siberian paleocontinent (Fig. 5). This suture separates the tectonic units of the early Earth with protoliths

about 3.82 Gyr old (model age of the common Pb protolith of the basement in the south of the Siberian paleocontinent) and about 4.31 Gyr (model age of the common Pb protolith of the Gargan block) (Rasskazov et al., 2025).



**Fig. 5.** Outcrop of mylonites and pseudotachylites of the Main Sayan fault on the 2nd km of the Kultuk-Arshan tract, photo 0787-88.

**Рис. 5.** Обнажение милонитов и псевдотахилитов Главного Саянского разлома на 2-м км тракта Култук–Аршан, фото 0787-88.

At the junction area between the Tunka Valley and the South Baikal Depression of the Baikal Rift System (BRS), the participants sampled rocks of the Kultuk volcano that erupted in the Main Sayan Fault 18–12 Myr ago (Fig. 6).

Massive dolerites of subvolcanic bodies, lava flows of porous lavas of subaerial eruptions, as well as pillow lavas and hyaloclastites of underwater volcanic eruptions were observed in outcrops (Fig. 7).



**Fig. 6.** Edifice of the Kultuk volcano erupted in the Early-Middle Miocene in the reactivated suture zone of the Main Sayan Fault, photo 0842-44.

**Рис. 6.** Постройка Култукского вулкана, извергавшегося в раннем-среднем миоцене в активизированной шовной зоне Главного Саянского разлома, фото 0842-44.



**Fig. 7.** Outcrop of Lower Miocene pillow lavas and hyaloclastites of the Kultuk volcano, photo 0819a.

**Рис. 7.** Обнажение нижнемиоценовых подушечных лав и гиалокластитов Култукского вулкана, фото 0819а.

To assess the seismogenic state of the earth's crust in the Baikal Rift System, hydrogeochemical monitoring of groundwater was arranged in the Kultuk Village with sampling of wells and springs every 2 weeks, as well as real-time measurements of the oxidation-reduction potential, pH, and temperature in groundwater wells (every 2 minutes).

*September 3. Cenozoic volcanic and sedimentary rocks of the eastern part of the Tunka Rift Valley*

The Kultuk–Arshan bus transfer was accompanied with stops for geological observations of outcrops along a highway in the eastern part of the Tunka Valley: 1) 5 km stop, a roadside exposure of overthrusting basement rocks on the Pleistocene-Holocene sediments (Fig. 8);



**Fig. 8.** Overthrusting of metamorphic basement rocks on Middle Pleistocene sediments, photo 0853.

**Рис. 8.** Надвиг метаморфических пород фундамента на среднеплейстоценовые отложения, фото 0853.

2) 13 km stop, an open pit of loose Lower Pleistocene sediment layers tilted at the azimuth of  $15^\circ$ , angle of  $45^\circ$  (Fig. 9, a, b); 3) 16.7 km stop, Bol'shaya Bystraya quarry, Middle Pleistocene boulder-pebble stratum that includes tourmaline pegmatite boulders (Fig. 10, a, b), 4) 27 km stop, Priirkutnyi and Karyer volcanoes that

erupted in the Early-Middle Miocene (Fig. 11, a–d). Deep-seated xenoliths from the Karyer Volcano, derived from the crust–mantle transition zone, show the Pb–Pb isochron age of 2.7 Gyr.

At the end of the day, the participants were accommodated in the VelMan apart-hotel of the Arshan village (Fig. 12).



a)

*b)*

**Fig. 9.** Lower Pleistocene deposits with inclined bedding of layers: (a), photo 0861, outcrop fragment (b), photo 0860.

**Рис. 9.** Нижнеплейстоценовые отложения с наклонным залеганием слоев: (a), фото 0861, фрагмент обнажения (b), фото 0860.

*a)*



*b)*

**Fig. 10.** General view of the Middle Pleistocene alluvium exposed by the Bol'shaya Bystraya quarry (a), photo 0864-66a and a boulder of muscovite-tourmaline granite from these sediments (b), photo 0872.

**Рис. 10.** Общий вид среднеплейстоценового аллювия, вскрытого Большим Быстринским карьером (a), фото 0864-66a и валун мусковит-турмалинового гранита из этих осадочных отложений (b), фото 0872.



*a)*



*b)*



c)



d)



e)

**Fig. 11.** Basalt covers with columnar joints in the eastern part of the Tunka Valley: *a, b* – without deep-seated inclusions (Priirkutnyi volcano), photos 0875-75 and 0879-81, *c* – with deep-seated ones (Karyer volcano), photo 0891-92, *d* – wehrlite xenolith from the Karyer volcano, sampled during the observation, photo 0896 and *e* – Pleistocene aeolian sand overlying the lava cover, photo 0873-74.

**Рис. 11.** Базальтовые покровы со столбчатой отдельностью в восточной части Тункинской долины: *a, b* – без глубинных включений (вулкан Прииркутский), фото 0875-75 и 0879-81, *c* – с глубинными включениями (вулкан Карьерный), фото 0891-92, *d* – верлитовый ксенолит из лав вулкана Карьерный, отобранный во время практики, фото 0896 и *e* – плейстоценовые золотые пески, перекрывающие лавовый покров, фото 0873-74.



**Fig. 12.** Accommodation in the VelMan apart hotel in the Arshan village, photo 0906-07.

**Рис. 12.** Размещение в гостинице «VelMan апарт отель» в пос. Аршан, фото 0906-07.

*September 4–5. Routes in the Arshan village and its environs: mudflow, mineral and thermal waters, the master fault of rift valley*

from the Tunka Ridge and flooded the Arshan village on June 28, 2014 (Fig. 13) (Akulov et al., 2018).

The participants went on a hiking route to observe a large-boulder mudflow that descended



**Fig. 13.** Debris flows that flooded the Arshan village on July 28, 2014, photo 0911-14.

**Рис. 13.** Селевые отложения, затопившие поселок Аршан 28 июля 2014 г., фото 0911-14.

Further, on the way up the valley of the Kyn-garga River, the participants observed Lower Cambrian carbonates of the pre-Cenozoic basement affected by cataclasis of the rift valley master fault (Fig. 14) and a natural source of gas-producing carbonated mineral water. Mineral and

thermal waters, supplied by drill holes, are used in the Arshan spar for medical treatment of people.

Participants had a bus route to the Khuray-Khobok volcano (Fig. 15), where they observed loess and sand deposits finalizing the 2.5 km

thick sedimentary filling of the Tunka depression (Fig. 16). The deposits were described in detail

in (Ryashchenko et al., 2014; Alokla et al., 2022).



**Fig. 14.** Cambrian carbonates affected by cataclasis in the Tunka fault, photo 0917.

**Рис. 14.** Катаклазированные кембрийские карбонаты в Тункинском разломе, фото 0917.



a)



b)



c)

**Fig. 15.** Khuray-Khobok volcano: *a* – group photo 0948; *b* – volcanic slag cut by a basalt dike, photo 0961a; *c* – loess on the southern slope of the volcano, photo 0952.

**Рис. 15.** Вулкан Хурай-Хобок: *a* – общее фото 0948; *b* – вулканические шлаки, прорванные базальтовой дайкой, фото 0961а; *c* – лесс на южном склоне вулкана, фото 0952.

During the bus transfer starting from the Arshan village, a stop in the Tunka depression yielded additional observations of Quaternary

lavas interbedded with sands on the northern bank of the Irkut River (Fig. 16).



**Fig. 16.** Pleistocene lava flow overlying the sands on the northern bank of the Irkut River, photo 0977.

**Рис. 16.** Плейстоценовый лавовый поток, перекрывающий пески на северном берегу р. Иркут, фото 0977.

Then two stops were done on the Kultuk-Irkutsk highway for an initial acquaintance with the rocks of the sedimentary cover of the Siberian paleocontinent. Along the Kultuk-Irkutsk route, in the zone of transition from the basement to the sedimentary cover of the Siberian paleocontinent, the participants observed

interbedded coastal-marine Cambrian sedimentary carbonate and terrigenous rocks with wave signs (Fig. 17) and also Jurassic continental coal-bearing sandstones of the Irkutsk basin (Fig. 18). In the evening of September 5, the Chinese participants were again accommodated in the Akademicheskaya Hotel.



**Fig. 17.** Wave signs in the terrigenous layer exposed in a road cut on the 36th km of the Irkutsk-Kultuk highway, photo 0986a.

**Рис. 17.** Волноприбойные знаки в терригенном прослое, вскрытом придорожной выемкой на 36 км тракта Иркутск – Култук, фото 0986а.



**Fig. 18.** Stop at the outcrop of Jurassic sandstones near Shelekhov town, photo 0987a.

**Рис. 18.** Остановка у обнажения юрских песчаников вблизи г. Шелехов, фото 0987а.

*September 6. Carbonate marine deposits of the Upper Precambrian and continental deposits of the Jurassic on the Siberian paleocontinent*

Participants went by bus to the Listvyanka port and boarded the ship Atlant for a Lake Baikal trip.

The first stop was to observe the coastal outcrops of the Jurassic (172–170 Myr) conglomerates of the Sennaya River mouth, at the Cape Skriper base (Fig. 19). Hypotheses on possible sources of numerous pebbles of trachydacite-rhyolite composition in the conglomerates were discussed (Oliferovsky et al., 2023). Lenses of

sandstones with plant imprints were found (Fig. 20).

The second stop was to observe the Upper Precambrian stromatolite limestones of the Uluntui formation of the Baikal series at the Bolshoy Kadilny and Maly Kadilny capes. The stromatolites have a local name of the species *Conophyton cadilnicus* Kor. (Figs. 21, 22) (Dolnik et al., 1970). For these limestones, the Ediacaran Pb–Pb isochron age of  $560 \pm 30$  Myr was obtained (Kuznetsov et al., 2013).

The ship returned to the Listvyanka port (Fig. 23). The participants went by bus to Irkutsk.



**Fig. 19.** Jurassic conglomerates on the shore of Lake Baikal. Baikal under the Skriper rock, photo 2010.

**Рис. 19.** Юрские конгломераты на берегу оз. Байкал под скальником Скрипер, фото 2010.



**Fig. 20.** Plant imprints in a sandstone lens within Jurassic conglomerates, photo 2013.

**Рис. 20.** Отпечатки растений в линзе песчаников юрских конгломератов, фото 2013.



**Fig. 21.** General view of the outcrop of stromatolite limestones of the Uluntui formation at the mouth of the Malaya Kadilnaya valley. Occurrence of layering — azimuth of incidence  $160^\circ$ , angle of incidence  $25^\circ$ , photo 2082-83.

**Рис. 21.** Общий вид обнажения строматолитовых известняков в устье пади Малая Кадильная. Залегание слоистости — азимут падения  $160^\circ$  угол падения  $25^\circ$ , фото 2082-83.



a)



b)



c)



d)



e)

**Fig. 22.** Outcrop of stromatolite limestones of the Uluntui formation, photos 2034, 2042, 2048, 2051, 2079.

**Рис. 22.** Обнажение строматолитовых известняков улунтуйской свиты, фото 2034, 2042, 2048, 2051, 2079.



**Fig. 23.** The final photo near Lake Baikal, photo 2094.

**Рис. 23.** Заключительное фото на оз. Байкал, фото 2094.

#### *September 7. Final day*

The participants met with the Vice-Rector of Irkutsk State University for Research and International Relations D.V. Aksyonov-Gribanov, the head of the International Department of ISU Y.V. Elokhina and the Dean of the Geological Faculty S.P. Primina. Then they visited the center of Irkutsk city before leaving Irkutsk.

#### **Conclusion**

In the course of field geological training, the students observed Precambrian, Lower Paleozoic and Mesozoic sedimentary, igneous, and metamorphic rocks that are representative for pre-Cenozoic tectonic units of the Siberian paleocontinent and accreted Khamar-Daban terrane. The lithosphere of these units was generated in the time range covering the much of the Earth's evolution.

#### **Acknowledgments**

Funding for the field geological training was provided by Peking University. Participated in this are 3 teachers and 24 students from the Peking University and three teachers from the Irkutsk State University.

#### **Contribution of the authors**

Technical issues of general planning of field geological training were solved by S. Rasskazov.

Geological objects of the Tunka Valley (in the Kultuk and Arshan areas) were demonstrated by S. Rasskazov and S. Snopkov, NW coast of Lake Baikal – by S. Kovalenko. Teachers of Peking University B. Zhang, J. Yao and M. Tang gave students additional explanations on the outcrops. Photographing of the objects of the entire excursion was performed by S. Kovalenko. We are grateful to Jiajun Wang for solving technical issues when planning and conducting this trip.

#### **References**

- Akulov N.I., Akulova V.V., Shtelmakh S.I., Rubtsova M.N., Sholokhov P.A. Structure and composition of mudflows of the Eastern Sayan. 2018, No. 1. P. 41–57. DOI 10.7868/S0024497X18010032 [Акулов Н.И., Акулова В.В., Штельмах С.И., Рубцова М.Н., Шолохов П.А. Строение и состав селевых потоков Восточного Саяна // Литология и полезные ископаемые. 2018, № 1. С. 41–57. DOI 10.7868/S0024497X18010032]
- Alokla R., Chuvashova I.S., Rasskazov S.V., Akulova V.V., Rubtsova M.N., Budaev R.Ts. Loess-like rocks on the Khurai-Khobok volcanic cone in the Tunka basin // Bulletin of Irkutsk State University. Earth Sciences Series. 2022. Vol. 41. P. 3–20. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.3> [Алокла Р., Чувашова И.С., Рассказов С.В., Акулова В.В., Рубцова М.Н., Будаев Р.Ц. Лессовидные породы на вулканическом конусе Хурай-Хобок в Тункинской впадине // Известия Иркутского государственного университета. Серия

Науки о Земле. 2022. Т. 41. С. 3–20. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.41.3>

Dolnik T.A., Nikolskiy F.V., Boitman F.F. Geological map of the USSR at a scale of 1 : 200 000. Sheet O-49-XX. Bodaiba series. Explanatory note. Moscow: Nedra, 1970. 58 p. [Дольник Т.А., Никольский Ф.В., Бойтман Ф.Ф. Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Лист О-49-XX. Серия Бодайбинская. Объяснительная записка. Москва : Недра, 1970. 58 с.]

Kovalenko S.N. Training field practice on geological surveying in Baikal : textbook. Irkutsk : Izd-vo IGU, 2016. 183 p. [Коваленко С.Н. Учебная полевая практика по геологической съемке на Байкале : учеб. пособие. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2016. 183 с.]

Kovalenko S.N., Dekabrev I.K., Yuryev A.A., Bogdanova I.A. Training field practice on geomapping at the Faculty of Geology of Irkutsk University // *Geology and Environment*. 2023. Vol. 3, No. 2. P. 132–164. DOI 10.26516/2541-9641.2023.2.132 [Коваленко С.Н., Декабрев И.К., Юрьев А.А., Богданова И.А. Учебная полевая практика по геокартированию на геологическом факультете Иркутского университета // *Геология и окружающая среда*. 2023. Т. 3, № 2. С. 132–164. DOI 10.26516/2541-9641.2023.2.132]

Kovalenko S.N. Geology the western coast of Lake Baikal in the vicinity of the Bolshaya and Malaya Kadilnaya valleys // *Geology and Environment*. 2025. Vol. 5, No. 3. P. 54–93. DOI 10.26516/2541-9641.2025.3.54. [Коваленко С.Н. Геология западного побережья оз. Байкал в окрестностях падей Большая и Малая Кадильная // *Геология и окружающая среда*. 2025. Т. 5, № 3. С. 54–93. DOI 10.26516/2541-9641.2025.3.54]

Kuznetsov A.B., Ovchinnikova G.V., Gorokhov I.M., Letnikova E.F., Kaurova O.K., Konstantinova G.V. Age constraints on the Neoproterozoic Baikal Group from combined Sr isotopes and Pb–Pb dating of carbonates from the Baikal type section, southeastern Siberia // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2013. Vol. 62. P. 51–66.

Mazukabzov A.M., Sizykh V.I. About the coverchessy structure of the Western Pribaikalye // *Geotectonics*. 1987. No. 3. P. 87–90. [Мазукабзов А.М., Сизых В.И. О покровно-чешуйчатом строении Западного Прибайкалья // *Геотектоника*. 1987. № 3. С. 87–90.]

Mongush A.R., Bokareva A.A., Podlinov A.N., Prokopchik V.V., Ritter V.S., Maksimov N.M., Kalinin V.S., Zaripov M.S., Dambaev S.A., Kovalenko S.N., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S., Saranina E.V., Rasskazov S.V. Similarity and Differences in the Composition of Middle Jurassic and Lower

Pliocene Sediments on the North-West Shore of Lake Baikal: Assessment of the Contribution of Clastic Material from the Primorsky Ridge to the Alluvium of the Middle Part of the Pra-Manzurka Valley // *Geology and Environment*. 2023. Vol. 3, No. 4. P. 51–81. DOI 10.26516/2541-9641.2023.4.51 [Монгуш А.Р., Бокарева А.А., Подлинов А.Н., Прокопчик В.В., Риттер В.С., Максимов Н.М., Калинин В.С., Зарипов М.С., Дамбаев С.А., Коваленко С.Н., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С., Саранина Е.В., Рассказов С.В. Сходство и различие состава среднеюрских и нижнеплиоценовых отложений на северо-западном берегу Байкала: Оценка вклада обломочного материала Приморского хребта в аллювий средней части долины Пра-Манзурки // *Геология и окружающая среда*. 2023. Т. 3, № 4. С. 51–81. DOI 10.26516/2541-9641.2023.4.51]

Oliferovsky R.V., Sedunova E.A., Shametova I.B., Bashkirtsev A.V., Danilin D.A., Mongush A.R., Kovalenko S.N., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S., Saranina E.V., Rasskazov S.V. Source of trachidacite-rhyolite pebbles of Middle Jurassic conglomerates on the northwestern shore of Baikal: comparison of pebbles with rocks of magmatic complexes of the Upper Paleozoic and Mesozoic of Transbaikalia // *Geology and Environment*. 2022. Vol. 2, No. 4. P. 53–79. DOI 10.26516/2541-9641.2022.4.53 [Олиферовский Р.В., Седунова Е.А., Шаметова И.Б., Башкирцев А.В., Данилин Д.А., Монгуш А.Р., Коваленко С.Н., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С., Саранина Е.В., Рассказов С.В. Источник трахидаци-риолитовых галек среднеюрских конгломератов на северо-западном берегу Байкала: сопоставление галек с породами магматических комплексов верхнего палеозоя и мезозоя Забайкалья // *Геология и окружающая среда*. 2022. Т. 2, № 4. С. 53–79. DOI 10.26516/2541-9641.2022.4.53]

Rasskazov S.V., Reshetova S.A., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S., Saranina E.V., Rubtsova M.N., Al Hamud A., Hassan A. Upper Miocene-Pliocene deposits of the Pra-Anosovka as a source of the Pra-Manzurka alluvium: Dobaikal transport of clastic material through the South Baikal depression. DOI 10.26516/2541-9641.2023.4.82 // *Geology and Environment*. 2023. Vol. 3, No. 4. P. 82–107. [Рассказов С.В., Решетова С.А., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С., Саранина Е.В., Рубцова М.Н., Аль Хамуд А., Хассан А. Отложения верхнего миоцена-плиоцена Пра-Аносовки как источник аллювия Пра-Манзурки: Добайкальский перенос обломочного материала через Южно-Байкальскую впадину // *Геология и окружающая среда*. 2023. Т. 3, № 4. С. 82–107. DOI 10.26516/2541-9641.2023.4.82]

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Snopkov S.V. The Tunka Valley and South Baikal Basin of the

Baikal Rift System: introduction into rifting processes in the continental lithosphere // *Geology and Environment*. 2025. Vol. 5, No. 3. P. 7–53. DOI 10.26516/2541-9641.2025.3.7. [Рассказов С.В., Чувашова И.С., Снопков С.В. Тункинская долина и Южно-Байкальская впадина Байкальской рифтовой системы: введение в процессы рифтогенеза в континентальной литосфере // *Геология и окружающая среда*. 2025. Т. 5, № 3. С. 7–53. DOI 10.26516/2541-9641.2025.3.7.]

Ryashchenko T.G., Akulova V.V., Ukhova N.N., Shtelmakh S.I., Grin N.N. Loess grunty Mongol-Sibirskogo regiona. Irkutsk : IZK SB RAN, 2014. 241 p. [Рященко Т.Г., Акулова В.В., Ухова Н.Н., Штельмах С.И., Гринь Н.Н. Лессовые грунты Монголо-Сибирского региона. Иркутск : ИЗК СО РАН, 2014. 241 с.]

Sklyarov E.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Stanevich A.M., Donskaya T.V., Konstantinov K.M., Sintsov A.V. Complexes-indicators of the breakup of the supercontinent Rodinia in the structures of the southern flank of the Siberian Craton (Guidebook of the geological excursion of the scientific meeting "Supercontinents in the geologic development of the Precambrian"). Irkutsk : IZK SB RAS, 2001. 78 p. [Склярлов Е.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Станевич А.М., Донская Т.В., Константинов К.М., Синцов А.В. Комплексы-индикаторы распада суперконтинента Родиния в структурах южного фланга Сибирского кратона (путеводитель геологической экскурсии научного совещания «Суперконтиненты в геологическом развитии докембрия»). Иркутск : ИЗК СО РАН, 2001. 78 с.]

State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 1 000 000 (third generation). Angara-Yenisei series. Sheet N-48. Irkutsk. Explanatory note. St. Petersburg. Kartfabrika VSEGEI. 2009. 574 p. [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-48. Иркутск. Объяснительная записка. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ. 2009. 574 с.]

**Rasskazov Sergei Vasilevich,**  
*doctor of geological and mineralogical sciences, professor,*  
664003, Irkutsk, Karl Marks st. 1,  
Irkutsk State University, Faculty of Geology,  
Head of Dynamic Geology Char,  
664033, Irkutsk, st. Lermontova, 128,  
Institute of the Earth's Crust SB RAS,  
Head of the Laboratory for Isotopic and Geochronological Studies,  
tel.: (3952) 51–16–59,

*email: rassk@crust.irk.ru*

**Рассказов Сергей Васильевич,**  
*доктор геолого-минералогических наук, профессор,*  
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса 1,  
Иркутский государственный университет, геологический факультет,  
заведующий кафедрой динамической геологии,  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,  
Институт земной коры СО РАН,  
заведующий лабораторией изотопии и геохронологии,  
тел.: (3952) 51–16–59,  
*email: rassk@crust.irk.ru*

**Kovalenko Sergey Nikolaevich,**  
*Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,*  
664003, Irkutsk, Karl Marks st. 1,  
Irkutsk State University, Faculty of Geology,  
Associate Professor of the Department of Dynamic Geology,  
tel.: (3952)20-16-39,  
*email: igrug@mail.ru.*

**Коваленко Сергей Николаевич,**  
*кандидат геолого-минералогических наук,*  
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса 1,  
Иркутский государственный университет,  
доцент кафедры динамической геологии геологического факультета,  
тел.: (3952)20-16-39,  
*email: igrug@mail.ru.*

**Snopkov Sergei Viktorovich,**  
*Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,*  
664003, Irkutsk, Karl Marx st., 1,  
Irkutsk State University, Faculty of Geology,  
Associate Professor,  
664074, Irkutsk, Kurchatov st., 3,  
Siberian School of Geosciences, Irkutsk National Research Technical University,  
Leading Researcher,  
*email: snopkov\_serg@mail.ru.*

**Снопков Сергей Викторович,**  
*кандидат геолого-минералогических наук,*  
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса 1,  
Иркутский государственный университет, геологический факультет,  
доцент,  
664074, г. Иркутск, ул. Курчатова, 3,  
Сибирская школа геонаук, Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
ведущий научный сотрудник,  
*email: snopkov\_serg@mail.ru.*

**Zhang Bo,**

Associate Professor, Director of Dynamic of Continent and Resource Engineering, School of Earth and Space Science, Peking University,  
100871, Haidian, Beijing,  
tel.: (086)13693649107,  
email: geozhangbo@pku.edu.cn

**Чжан Бо,**

доцент, директор кафедры динамики континентальной и ресурсной инженерии, Школа наук о Земле и космосе, Пекинский университет,  
100871, Хайдянь, Пекин,  
тел.: (086)13693649107  
email: geozhangbo@pku.edu.cn

**Yao Jinxian,**

Associate Professor, School of life Sciences, Peking University,  
100871, Haidian, Beijing,  
tel.: (086)13661262048,

email: jxyao@pku.edu.cn

**Yao Цзиньсянь,**

доцент, Школа наук о жизни, Пекинский университет,  
100871, Хайдянь, Пекин,  
тел.: (086)13661262048,  
email: jxyao@pku.edu.cn

**Tang Ming,**

Professor, School of Earth and Space Science, Peking University,  
100871, Haidian, Beijing,  
tel.: (086)13083595979,  
email: mingtang@pku.edu.cn

**Тан Минь,**

Профессор, Школа наук о Земле и космосе, Пекинский университет,  
100871, Хайдянь, Пекин,  
тел.: (086)13083595979,  
электронная почта: mingtang@pku.edu.cn

---

## КОНФЕРЕНЦИИ

УДК 550.34.032

<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2026.1.189>

EDN: LVKTMI

### Результаты ежегодной научной конференции студентов и молодых ученых по наукам о земле геологического факультета

С.В. Снопков<sup>1,2</sup>, И.А. Богданова<sup>1</sup><sup>1</sup>*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия*<sup>2</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** В настоящее время навыки научных исследований являются одной из обязательных компетенций выпускников высших учебных заведений. Для стимулирования студентов к занятию исследовательской работой геологический факультет Иркутского государственного университета ежегодно проводит научную конференцию, на которой представляются результаты геологических исследований студентов и молодых ученых. В данной статье приведен анализ проведенных научных исследований, представленных на конференции.

**Ключевые слова:** научные исследования, молодые ученые, научная конференция, методы геологических исследований, анализ геологических данных, поисковые критерии, методы разработки месторождений, газогеохимические съемки

### Results of the Annual Scientific Conference of Students and Young Scientists on Earth Sciences of the Geological Faculty

S.V. Snopkov<sup>1,2</sup>, I.A. Bogdanova<sup>1</sup><sup>1</sup>*Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*<sup>2</sup>*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

**Abstract.** Currently, research skills are one of the mandatory competencies of graduates of higher educational institutions. To stimulate students to engage in research, the geological faculty of Irkutsk State University annually holds a scientific conference at which the results of geological studies of students and young scientists are presented. This article provides an analysis of the scientific research presented at the conference.

**Keywords:** scientific research, young scientists, scientific conference, geological research methods, geological data analysis, prospecting criteria, field development methods, gas geochemical surveys

---

Статья получена: 13.04.2026; исправлена: 17.04.2026; принята: 24.04.2026.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Снопков С.В., Богданова И.А. Результаты ежегодной научной конференции студентов и молодых ученых по наукам о земле геологического факультета // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 1. С. 189–194. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.189. EDN: LVKTMI

Article received: 13.04.2026; corrected: 17.04.2026; accepted: 24.04.2026.

FOR CITATION: Snopkov S.V., Bogdanova I.A. Results of the annual scientific conference of students and young scientists on earth sciences of the geological faculty // Geology and Environment. 2026. Vol. 6, No. 1. P. 189–194. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.189. EDN: LVKTMI

### **Введение**

Навыки научно-исследовательской деятельности выпускников ВУЗов рассматриваются Федеральным государственным стандартом высшего образования как важная компетенция профессиональной деятельности. При этом неотъемлемым компонентом в профессиональной подготовке кадров являются научные конференции, на которых студенты получают опыт представления результатов научной работы и расширяют свой научный кругозор. Данный опыт позволяет выявлять предрасположенность студентов заниматься наукой, тем самым определять траекторию их будущей профессиональной деятельности, в том числе в научных учреждениях.

9 апреля 2026 года на площадке геологического факультета Иркутского государственного университета в очередной раз прошла

научная конференция студентов и молодых ученых по наукам о Земле. Проведение конференции является традиционным и важным мероприятием в плане работы факультета. Мероприятие представляет собой публичную площадку для выступления студентов, аспирантов и молодых учёных с результатами своих научных исследований.

На конференции было представлено 11 докладов. Устное выступление авторов сопровождалось активной дискуссией аудитории по направлению проведенных исследований. Общее количество участников превышало 60 человек.

Открыл работу конференции декан геологического факультета, кандидат геолого-минералогических наук, доцент Сергей Александрович Сасим. Модератором конференции выступил кандидат геолого-минералогических наук, доцент Сергей Викторович Снопков.



**Рис. 1.** Участники ежегодной научной конференции студентов и молодых ученых по наукам о земле геологического факультета.

**Fig. 1.** Participants of the annual scientific conference of students and young scientists on earth sciences of the geological faculty.

Представленные на конференции работы отличались большим разнообразием как по объектам изучения, так и по уровню и глубине проведенного исследования. Авторы

докладов обстоятельно отвечали на многочисленные вопросы аудитории.

В завершающей части конференции для её участников была проведена презентация документального фильма «Сибирский графит

Алибера» (Автор идеи: Георгий Рыков, продюсер: Лариса Базылевич; сценарист и режиссер: Евгения Ханбекова, г. Санкт-Петербург, 2023 г.).

### **Краткая характеристика докладов участников конференции**

Студенткой 4 курса Дюсьмекеевой Алёной Александровной (научный руководитель: к.г.-м.н., доцент Примина Светлана Павловна) был проведен анализ состояния

нефтегазовой отрасли Ирана. (Рис. 2) Автор подробно рассмотрела разведанные ресурсы ближневосточного государства и способы их разработки. Обратила внимание на особенности расположения месторождений с точки зрения возможностей обеспечения безопасности работы предприятий нефтегазовой отрасли. Проведенный автором анализ показал уязвимость отрасли при военно-политических конфликтах, и её влияние на мировую экономическую систему.



**Рис. 2.** А.А. Дюсьмекеева (студентка группы 05461-ДС) представляет исследовательскую работу «Нефть и газ Ирана».

**Fig. 2.** A.A. Dyusmekeeva (student of the 05461-DS group) presents the research work "Oil and Gas of Iran".

Ещё одна аналитическая работа — «Динозавры пустыни Гоби» — была представлена студентом 2 курса Егором Александровичем Тютриным (научный руководитель: доктор геол.-минерал. наук, профессор А.Т. Корольков). Работа была посвящена систематике динозавров, обнаруженных в пустыне Гоби.

Автором был дан обзор местонахождений окаменелых останков динозавров и описаны наиболее выдающиеся палеонтологических находки. Особо автор подчеркнул роль находок в пустыне Гоби в изучении систематики динозавров мира.



**Рис. 3.** Е.А. Тютрин (студент группы 05261-ДС) представляет исследовательскую работу «Динозавры пустыни Гоби».

**Fig. 3.** E.A. Tyutrin (student of the 05261-DS group) presents the research paper "Dinosaurs of the Gobi Desert".

Представленная на конференции работа студента 4 курса Абдусамиева Азизжона Халимжона угли (научный руководитель: канд. геол.-минерал. наук, доцент С.П. Примина) была посвящена анализу возможностей гелиевой съемки при поисках месторождений нефти и газа. Автор провел сравнение результатов газогеохимических съемок по гелию и углеводородным газам, а также охарактеризовал их преимущества и недостатки. Доклад «Гелиевая съемка при поисках месторождений нефти и газа» вызвал большой интерес аудитории.

Ещё одна работа, связанная с анализом возможностей методов поиска месторождений углеводородов, была представлена студентом заочного обучения 2 курса магистратуры Будаевым Баяром Буянтаевичем (научные руководители: канд. геол.-минерал. наук, доцент С.В. Снопков и ст. преподаватель И.А. Богданова). В докладе «Результаты интерпретации газового каротажа по глубоким скважинам, пробуренным в пределах Усть-Кутского свода» автор показал, как на распределение газов внутри скважинного пространства влияют тектонические нарушения в толще осадочного чехла. По данным, полученным в ходе проведения газового каротажа в процессе бурения скважин в пределах Усть-

Кутского свода, выделилось несколько субвертикальных зон повышенных содержаний углеводородных газов, связанных с субвертикальными диффузионными газовыми потоками. Сравнение результатов поверхностной гидрогеохимической съемки в пределах свода подтверждает результаты газового каротажа. Поле повышенных концентраций углеводородных газов на поверхности имеет вид вытянутых зон различной контрастности. Выявленные аномалии приурочены к тектоническим нарушениям, и пространственно совпадают с зонами субвертикальных диффузионных потоков по данным газового каротажа.

Кроме аналитических работ был представлен ряд сообщений, раскрывающих результаты собственных исследований. К таким работам относится доклад «Вариации химического состава слюд из карбонатных толщ Слюдянского района по данным сканирующей электронной микроскопии», подготовленный студенткой 4 курса Евой Александровной Трубачевой, в соавторстве со студентом 2 курса магистратуры И.А. Власюком (научный руководитель: канд. геол.-минерал. наук, доцент С.А. Сасим). В работе представлены данные химического состава большой коллекции образцов флогопита, собранной в

пределах Слюдянского горнорудного района. Анализ данных показал значительные вариации ряда химических элементов в составе слюд и выявил некоторые разновидности флогопита, ранее не описанные на этой территории.

Интересные и важные результаты получил студент 2 курса магистратуры Александр Игоревич Лихачев, который провел статистический анализ пористости и проницаемости образцов горных пород верхнечонских продуктивных пластов. В своем докладе «К вопросу о выборе методов поддержания пластового давления на Верхнечонском нефтегазоконденсатном месторождении» (научные руководители: канд. геол.-минерал. наук, доцент С.В. Снопков и ст. преподаватель И.А. Богданова) автор показал, что фильтрационно-емкостные свойства пород пластов-коллекторов отличаются высокой изменчивостью. Наряду с породами невысокой проницаемости (составляющими более 80 %) пласта выделяются две группы пород с повышенной и высокой проницаемостью. Такая ситуация делает опасным применение равномерного закачивания воды в пласт с целью поддержания пластового давления при эксплуатации месторождения. При равномерном закачивании вода будет устремляется в пропластки с высокой проницаемостью, что приведет к преждевременному обводнению эксплуатационных скважин. Для увеличения гидравлического сопротивления и закрытия наиболее проницаемых каналов автор предлагает использовать на месторождении технологию формирования равномерного фронта вытеснения нефти (выравнивание профиля приемистости).

«Опыт применения моделирования при эксплуатации золоторудного месторождения Озерновского (Камчатка)» — так назывался доклад студента 6 курса заочного обучения Никиты Вадимовича Прокопьева (научный руководитель: доктор геол.-минерал. наук, профессор А.Т. Корольков). Автором подробно рассмотрены подходы и результаты моделирования золотого оруденения месторождения. Использование большого количества исходных данных позволяет осуществлять достаточно корректное геологическое моделирование, точность которого

подтверждают результаты разработки месторождения.

Еще один опыт изучения и эксплуатации рудного месторождения представлен в докладе студентки 6 курса заочного обучения Татьяны Сергеевны Бояркиной: «Геологическое строение и результаты эксплуатационных разведочных работ Удоканского медного месторождения (Северное Забайкалье)» (научный руководитель: доктор геол.-минерал. наук, профессор А.Т. Корольков). Автор показала, как особенности геологического строения месторождения влияют на выбор методики его разработки.

Аспирант Института геохимии СО РАН Софья Андреевна Баранова, в соавторстве со старшим научным сотрудником института Ю.Д. Щербаковым представила работу «Структурно-геофизическая модель Шара-Горхонской очаговой структуры и её перспективность на порфирово-эпитермальное оруденение (Забайкальский край)» (научный руководитель: канд. геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник Ю.И. Тарасова). Комплексный анализ геолого-геофизических данных на известных объектах с порфирово-эпитермальным оруденением позволил выработать критерии поиска подобных объектов на сопредельных территориях.

Завершились научные доклады сообщением ведущего геолога ООО «СИБГАЗ» Сергея Алексеевича Лазаренко: «Зоны деструкции кристаллического фундамента как поисковый признак миграции и скопления углеводородов на примере юго-восточной части Ангаро-Ленской ступени и сопоставимых внешних аналогов». С.А. Лазаренко, вместе с его соавторами: аспирантом 3-го года обучения ИГУ, главным геологом ООО «СИБГАЗ» Д.О. Мамаковым, главным геофизиком ООО «СИБГАЗ» Е.В. Демидовой и заведующим лабораторией геологии нефти, газа и гидроминерального сырья Института Земной коры СО РАН, доктором геол.-минерал. наук А.Г. Вахромеевым, предложили новый оригинальный поисковый признак для залежей углеводородов — зоны деструкции кристаллического фундамента. Зоны деструкции выделялись авторами по результатам комплексной интерпретации данных многоволновой сейсморазведки. Проведенное сопоставление положения выявленных зон

деструкции фундамента и известных месторождений углеводородов в осадочном чехле показало их высокую сходимость. Выявленные закономерности заставляют пересмотреть существующие представления о процессах миграции и накопления углеводородов.

### **Заключение**

Научная конференция студентов и молодых ученых по наукам о Земле геологического факультета в очередной раз подтвердила статус эффективной площадки научного взаимодействия. Студенты и молодые ученые продемонстрировали большой спектр направлений геологических исследований: от анализа известной информации до разработки новых поисковых критериев и методов эксплуатации месторождений.

Тезисы докладов участников конференции будут опубликованы в сборнике «Вестник Иркутского Университета».

Организационный комитет конференции выражает благодарность участникам научного мероприятия.

**Снопков Сергей Викторович,**

*кандидат геолого-минералогических наук, доцент,*

*664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1, Иркутский государственный университет,*

*доцент,*

*664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 91,*

*Сибирская школа геонаук Иркутский национальный исследовательский технический университет,*

*научный сотрудник,*

*email: snopkov\_serg@mail.ru*

**Snopkov Sergey Viktorovich,**

*Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor,*

*Karl Marx st., 1, Irkutsk, 664003, Russia,*

*Irkutsk State University,*

*Associate Professor,*

*91 Lermontov st., Irkutsk, 664033, Russia,*

*Siberian School of Geosciences Irkutsk National Research Technical University,*

*Researcher,*

*email: snopkov\_serg@mail.ru*

**Богданова Ирина Анатольевна,**

*664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,*

*Иркутский государственный университет,*

*старший преподаватель,*

*email: irinairk@gmail.com.*

**Bogdanova Irina Anatolyevna,**

*Karl Marx st., 1, Irkutsk, 664003, Russia,*

*Irkutsk State University,*

*Senior lecturer,*

*email: irinairk@gmail.com*

# НАУЧНАЯ, ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ, УЧЕБНАЯ И ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА

УДК 528.9(235.32) (077)

<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2026.1.195>

EDN: MACRLQ

## Уникальные геологические объекты полевой учебной практики по геокартированию на Байкале: местоположение и наиболее характерные точки наблюдения

С.Н. Коваленко

*Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** В статье дается краткая характеристика уникальных породных, минералогических и минерагенических образований (редкие породы, минералы и полезные ископаемые): архейской шарыжалгайской серии, нижнепротерозойской слюдянской серии, нижнеротерозойских хангарульской и хамар-дабанской серий, гранит-пегматитов слюдянского комплекса, верхне-среднерифейского трехчленного байкальского комплекса, которые изучают студенты 2-го курса Иркутского университета на учебной полевой практике по геокартированию.

**Ключевые слова:** учебная полевая практика по геокартированию, редкие породы, минералы, полезные ископаемые, озеро Байкал, хребет Хамар-Дабан

## Unique Geological Objects of Field Practice in Geomapping on Lake Baikal: Location and the Most Characteristic Observation Points

S.N. Kovalenko

*Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

**Abstract.** The article gives a brief description of unique rock, mineralogical and mineragenic formations (rare rocks, minerals and minerals): the Archean Sharyzhalgai series, the Lower Proterozoic Slyudyansky series, the Lower Roterzoic Khangarul and Khamar-Daban series, granite-pegmatites of the Slyudyansky complex, the Upper Middle Riphean three-membered Baikal complex, which are studied by 2nd year students of Irkutsk University at the field practice in geomapping.

**Keywords:** educational field practice on geomapping, rare rocks, minerals, minerals, Khamar-Daban Ridge

\* Получена 21.01.2026; исправлена 22.03.2026; принята 27.03.2026

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Коваленко С.Н. Уникальные геологические объекты полевой учебной практики по геокартированию на Байкале: местоположение и наиболее характерные точки наблюдения // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 1. С. 195–216. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.195. EDN: MACRLQ

Article received: 21.01.2026; corrected: 22.03.2026; accepted: 27.03.2026.

FOR CITATION: Kovalenko S.N. Unique geological objects of field practice in geomapping on Lake Baikal: location and the most characteristic observation points // Geology and Environment. 2026. Vol. 6, No. 1. P. 195–216. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.195. EDN: MACRLQ

## Введение

Учебная полевая практика по геокартированию на геологическом факультете Иркутского университета уже многие годы проводится на полигонах в окрестностях г. Иркутска, в северо-западной части Хамар-Дабана, а также вдоль береговой полосы Байкала между пос. Листвянка и Бол. Голоустное.

Целями учебной практики по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности (по геологическому картированию) являются практическое закрепление и углубление теоретической подготовки по дисциплинам «Структурная геология» и «Геологическое картирование», соотнесенные с общими целями ОПОП ВО, приобретение студентами практических навыков и компетенций в сфере профессиональной деятельности.

Задачи учебной практики по геологическому картированию были обоснованы и приведены в предыдущей статье по обзору всех полигонов практики доступных в регионе Южной Сибири (Коваленко и др., 2023, с. 133–136). Ее методическая и структурно-геологическая основа описана в ряде статей и учебных пособий (Абрамович и др., 2007; Коваленко, 2016, 2025; Коваленко и др., 2023; Коваленко и др., 2024), где подробно освещено большинство вопросов проведения практики: 1) физико-географические условия; 2) территория, простирающаяся по побережью южной части Байкала от пос. Бол. Голоустное до осевой линии хр. Хамар-Дабан; 3) особенности орогидрографии; 4) главные общегеологические особенности (стратиграфия, тектоника и др.).

При этом приоритетными задачами, без которых невозможно заниматься геокартированием таких районов являются: 1) ознакомление и изучение петрографических особенностей всех образований в том числе и полезных ископаемых, их месторождений и рудопроявлений (рис. 1); 2) большая часть

детальных полигонов практики характеризуется геологической обстановкой с развитием глубокометаморфизованных и интрузивных образований описываемых в методических руководствах (Геологическая съёмка..., 1972; Геологическая съёмка..., 1980; Геологическая съёмка..., 1996; Методика картирования..., 1980; Шульдинер, Ермолаев, 1993; Геологическое картирование..., 1994; Методическое руководство..., 2021), а меньшая — осадочного или вулканогенного характера и др. В связи этим большое внимание на практике следует уделять породно-минерально-минерагеническим образованиям.

## Породно-минералогическо-минерагенические особенности

Согласно Методическим рекомендациям (Полевые исследования..., 2000) геологическая съёмка областей сложенных метаморфическими породами должна проводиться с применением структурно-вещественного (формационного) подхода, с дополнительным выделением образований различных фаций метаморфизма, согласно которому необходимо производить расчленение и изучение метаморфических образований (петроформаций) по (Геологическая съёмка..., 1996; Шульдинер, Ермолаев, 1993). *«Этот подход по необходимости ограничивает полевые работы изучением вещественного состава и структуры образований и выделением метаформаций. Последовательность метаформаций определяется в большинстве случаев по таким критериям, как залегание в структурах (синформах, антиформах и т.п.), соотношение с плутоническими образованиями, последовательность деформаций и радиологические данные. Метаформации представляют собой инструмент картографирования и в этом смысле являются предварительными [полевыми, зам. авторов] подразделениями. Задача определения таксономического ранга этих подразделений решается на всех этапах камеральной обработки (начиная с полевой) на основе (Геологическая съёмка..., 1996; Петрографический*

кодекс...», 2008)» (Полевые исследования..., 2000, с. 55–56). Аналогами метаформаций (парагенераций, петроформаций) на отечественных геологических картах на территории практики являются серии и свиты.

Метаформации объединяются в конкретный метаморфический комплекс, который соответствует конкретной структурно-формационной зоне и описывает ее существенные черты строения и часто определяет ее специфику, а также своими петрографическими особенностями характеризует ее как генетически единое геологическое тело (группу тел). Хамардабанский район практики относится к архейскому гранулитовому метаморфо-минерагеническому комплексу андалузит-силлиманит-гиперстеновой серии. Исходные породы — метапелиты и иногда metabазиты. Характерный признак — повышенная магнезиальность фемических минералов и характерный набор полезных ископаемых, возникших в результате синметаморфических и апометаморфических процессов гранулитовой и амфиболитовой фаций метаморфизма и локализуемых в разнотипных комплексах, метаморфических: мигматит-пироксен(амфиболит)-гнейсовые, кальцифир-амфиболит-гнейсовые, гранит-гнейсовые, мигматит-гнейсовые и гнейсо-гранитные и минерагенических: Fe (ильменит-магнетитовые, магнетитовые), Mn, Ti, керамические пегматиты, графит, флогопит, апатит, высокоглиноземистое (силлиманит и др.) и высокомагнезиальное (мраморы) сырье, поделочные (лазурит, диопсид, шпинель и др.), строительные материалы.

Главным и почти единственным методом изучения нерудного сырья в таких условиях является полевые геологические наблюдения рудоконтролирующих факторов поскольку они плохо выделяются с помощью геофизических и геохимических методов.

При этом необходимо соблюдать следующую последовательность описания (Геологическая съёмка..., 1996, там же глава 9):

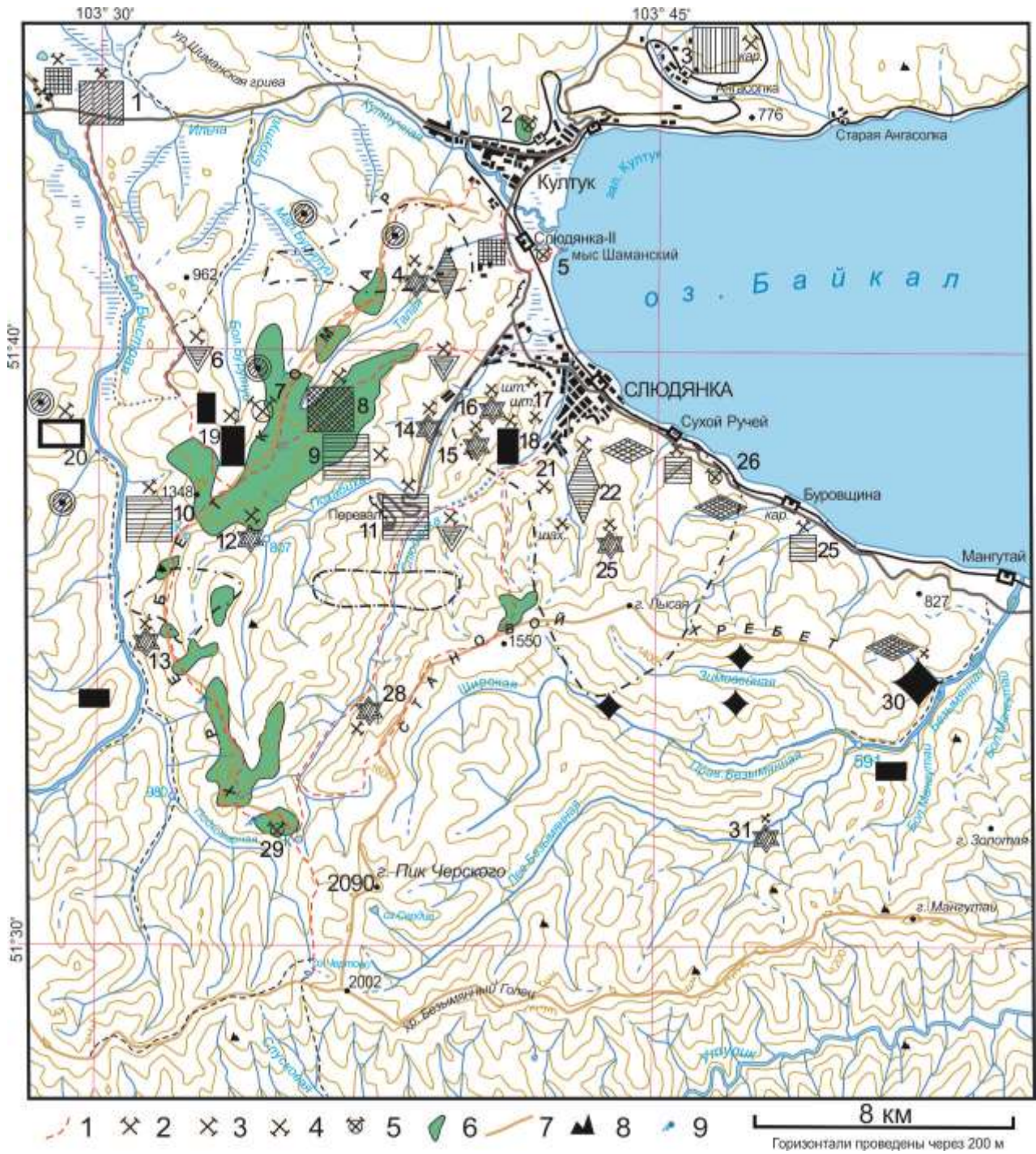
1. Перечень горных пород развитых в изучаемом районе с полным их описанием и отбором проб для петрографического, геохимического и химического изучения.

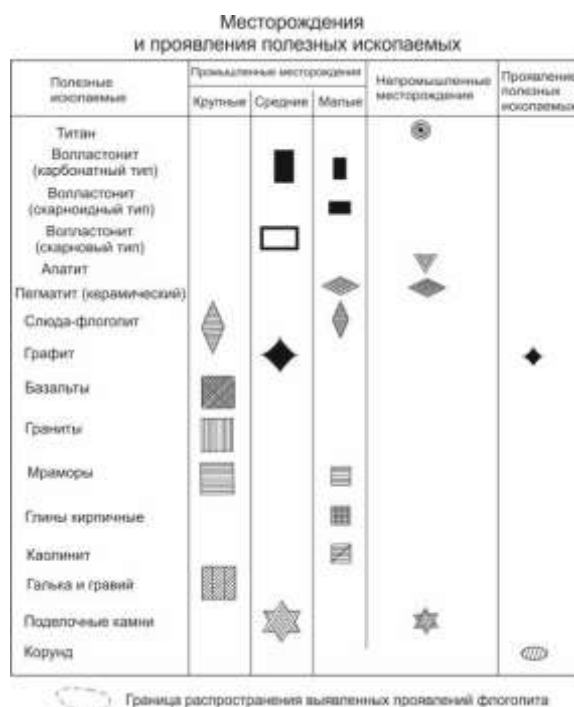
2. Объединение монопородных тел в метаформационное тело и определение его границ и размеров. Одновременно исследуются внутреннее строение метаформации, изучаются особенности состава и структуры, связанные с метаморфическими преобразованиями и, если возможно, обусловленные исходным составом пород. Если исходный состав удалось определить, то выделяют самостоятельные стратифицированные и нестратифицированные метаформации.

3. Выяснение взаимоотношений различных подразделений между собой и с интрузивными телами, переходы между подразделениями, расположение и ориентировка первичных геологических тел и расположение зон метаморфизма различной степени, прослеживание характера изменения однотипных пород в зонах метаморфизма, отбор образцов для камерального изучения и пробы для определения геохронологического возраста, геохимических, петрофизических и других характеристик и т.п.

### **Хамардабанский полигон**

Изучение минерагенических ресурсов полевой учебной практики по геокартированию в районе Хамар-Дабана можно начать с маршрутов-экскурсий в районе Шаманского мыса на Байкале (рис. 1, № 5) (Коваленко и др., 2024, с. 174, табл. 2, вариант А) или же с Бургутуйского апатит-кварц-диопсидового карьера (рис. 1, № 6) (Коваленко и др., 2024, с. 174, табл. 2, вариант Б).





**Рис. 1.** Обзорная карта месторождений, рудопроявлений и уникальных геологических образований Хамардабанского полигона практики (по Шафеев, Перевалов, 1966; Слюдянский кристаллический..., 1981; Геологические памятники..., 1993; Байкал. Геология..., 2011; с дополнениями и изменениями).

1 – основные направления маршрутов практики; 2–4 – промышленная освоенность месторождений: 2 – эксплуатируемые, 3 – законсервированные, 4 – отработанные; 5–9 – уникальные геологические объекты: 5 – общегеологические, 6 – вулканические вершинные покровы и некки олигоценых базальтов, забронировавшие древние долины, 7 – осевые линии горных хребтов, 8 – крупные останцы выветривания, 9 – выходы родниковых подбазальтовых пресных вод.

Цифрами на карте обозначены объекты: 1 – Быстринский карьер (гравий с турмалиновой минерализацией в гальках); 2 – некк Чертова Гора (олигоценый магмовыводящий канал, базальты, подушечные лавы); 3 – Ангасольский гранитный карьер; 4 – лазуритовые копи р. Талой; 5 – мыс Шаманский (гранатовые и гранат-гиперстеновые высокобарические гранулиты); 6 – карьер Бурутуйского месторождения (кварц-диопсидовые породы, апатит и волластонит; 7 – Бурутуйский габброидный массив (оливиновое габбро, святоноситы, титано-магнетитовая минерализация, шпинель-кордиеритовые роговики); 8 – Комарское месторождение базальта; 9–11 – месторождения низкомагнезиальных цементных мраморов: 9 – Комарское, 10 – разведочный участок Перевал-2, 11 – действующий карьер Перевал (гигантские кристаллы белого до голубого кальцита, лавровит, розовая и голубая шпинель, главколит и др. минералы); 12 – Похабихское проявление лазурита; 13 – пегматитовая жила «Амазонитовая»; 14 – копь Кабера (флюорит-сфен-диопсидовая пегматитовая жила); 15 – копь Пилипенко (магнетит-сфен-роговообманково-ортитовая пегматитовая жила); 16 – копь Якунина (биотит роговообманково-ортитовая пегматитовая жила); 17 – Рудник 3 (карьер вскрывающий комплекс метаморфических пород, магнезиальных скарнов гнездово-прожилкового и жильного флогопита); 18–20 – месторождения волластонита: 18 – Асямовское месторождение волластонита, 19 – Бурутуйское, 20 – Андреевское скарнового типа (таблитчатые кристаллы и сноповидные агрегаты волластонита); 21 – Рудник 2-карьер (лестничные флогопитовые жилы, дайки монзонитов, кристаллы апатита, скаполита и др. минералов, карьером); 22 – Слюдянское месторождение флогопита, 25 – копь Вернадского (биотит роговообманково-ортитовая пегматитовая жила); 26 – выемка 117-го км (апоэклогитовые амфиболиты с крупными реликтовыми зернами граната); 27 – карьер Буровщина розовых облицовочных декоративных мраморов; 28 – лазуритовое проявление Студенческое; 29 – крупный уступ базальтового покрова западнее метеостанции «Хамар-Дабан»; 30 – Мангутайское месторождение графита (графит, гранат, диопсид, гиперстен и др. минералы); 31 – Безымянское проявление лунного камня.

**Fig. 1.** Overview map of deposits, ore occurrences and unique geological formations of the Khamardaban practice polygon (after Shafeev, Perevalov, 1966; Slyudyansky Crystal..., 1981; Geological Monuments..., 1993; Baikal. Geology..., 2011; with additions and changes).

1 – the main directions of the internship routes; 2–4 – commercial development of fields: 2 – operated, 3 – mothballed, 4 – depleted; 5–9 – geological attractions: 5 – unique geological objects, 6 – volcanic summit covers and nekki of Oligocene basalts, which have booked ancient valleys, 7 – axial lines of mountain ranges, 8 – large weathering remnants, 9 – outlets of spring sub-basalt fresh waters.

The numbers on the map indicate the following objects: 1 – Bystrinsky quarry (gravel with tourmaline mineralization in pebbles); 2 – neck of Devil's Mountain (Oligocene magma drainage channel, basalts, pillow lavas); 3 – Angasol granite quarry; 4 – lapis lazuli mines of the Taloy River; 5 – Cape Shamansky (garnet and garnet-hypersthene high-pressure granulites); 6 – Burutuiskoye deposit quarry (quartz-diopside rocks, apatite and wollastonite); 7 – Burutuisky gabbroid massif (olivine gabbro, saint-bearers, titanium-magnetite mineralization, spinel-cordierite hornfels); 8 – Komarskoye basalt deposit; 9–11 – deposits of low-magnesia cement marbles: 9 – Komarskoye, 10 – Pereval-2 exploration area, 11 – Pereval operating quarry (giant crystals of white to blue calcite, laurel, pink and blue spinel, glaucolite and other minerals); 12 – Pokhabikh manifestation of lapis lazuli; 13 – pegmatite vein "Amazonite"; 14 – Kaber mine (fluorite-sphen-diopside pegmatite vein); 15 – Pilipenko mine (magnetite-sphene-hornblende-ortite pegmatite vein); 16 – Yakunin's mine (biotite hornblende-ortite pegmatite vein); 17 – Mine 3 (open pit opening a complex of metamorphic rocks, magnesia skarns, nest-veined and veined phlogopites); 18–20 – wollastonite deposits: 18 – Asyamovskoye wollastonite deposit, 19 – Burutuiskoye, 20 – Andreevskoye of the skarn type (tabular crystals and sheaf-like wollastonite aggregates); 21 – Mine 2 – quarry (phlogopite stair veins, dikes of monzonite, crystals of apatite, scapolite and other minerals, quarry); 22 – Slyudyanskoye phlogopite deposit, 25 – Vernadsky mine (biotite hornblende-ortite pegmatite vein); 26 – excavation of the 117th km (apoeclogite amphibolites with large relict pomegranate seeds); 27 – Burovshchina quarry of pink facing decorative marbles; 28 – lapis lazuli Student; 29 – a large scarp of basalt cover to the west of the Khamar-Daban weather station; 30 – Mangutai graphite deposit (graphite, garnet, diopside, hypersthene and other minerals); 31 – Nameless manifestation of moonstone.

На детальном участке в районе мыса Шаманский при изучении в процессе детального картирования можно ознакомиться почти со всеми горными породами: мраморами (белыми, розовыми и желтыми), кристаллическими сланцами, чарнокитоидными гранитами и гранитогнейсами с включениями пироксена, флогопит-диопсид-апатитовыми метасоматитами, тектонитами и т. д. култукской свиты, которые будут сопровождать вас на всем протяжении практики в Слюдянском районе. Здесь же находится месторождение каолина Слюдянское с запасами 600 тыс. т.

В окрестностях города Слюдянка имеются многочисленные горные выработки (рис. 1, № 17-18, 21, 25) по добычи в прошлом веке слюды флогопита (рис. 1, № 22), в отвалах которых можно найти почти все известные минералы Слюдянского района. Исторические же сведения о главном городообразующем месторождении флогопита, давшего название городу, находятся в статье этого выпуска журнала (Снопков, Богданова, 2026).

Находясь в городе Слюдянка, можно поискать в его окрестностях коллекционный корунд розового, красного и синего цветов, который отмечался еще Д.С. Коржинским (1947

г.) «в виде каемок вокруг шпинели на Шаманском мысе. Рубиносодержащие породы известны в нескольких обнажениях вдоль автотрассы Иркутск – Чита (район 129 км), в мреднем течении р. Безымянная, в шпинель-форстеритовых кальцифирах в разрезе горных пород по р. Слюдянка ... Во всех случаях корундовая минерализация приурочена к пластам доломитовых мраморов» (Байкал. Геология..., 2011, с. 167–169).

В маршруте-переходе по дороге от города до метеостанции «Хамар-Дабан» по долине р. Слюдянка по ее левому берегу во время изучения перевальной свиты студенты получают представление о всех метаморфических породах Слюдянского опорного разреза\*. Этот разрез хорошо описан в сводке-монографии Геологические памятники Байкала (1993, с. 26–31), а в 5 км дальше по маршруту в нижней придорожной части отвалов карьера Перевал (рис. 1, № 11) следует посмотреть голубые кристаллы гигантозернистого кальцита, поискать жёлтый минерал быстрит и голубую сапфировую шпинель. Последняя, в случае ее обнаружения, часто образует многочисленные прекрасные кристаллы в мелкозернистых белых кальцитовых мраморах

(Коваленко и др., 2023, с. 148). В Слюдянском районе известна и другая шпинель — ювелирная — разнообразной окраски, которую можно обнаружить в россыпях в верховьях р. Семиречка, устье которой находится в 2 км к западу от о/п ВСЖД 5362 км (Кокунин, 2009, с. 136–139).

\* Прекрасный объект для учебного изучения опорного разреза в качестве примера не на один маршрутный день, с организацией базового полевого лагеря вблизи него.

Еще одно законсервированное месторождение флюсовых мраморов Комарское (рис. 1, № 9) расположено в 15 км к северо-западу от ж. д. ст. Слюдянка и в 2.5 км от горного предприятия Перевал. Месторождение разведано в 1961–1967 гг. Оба месторождения кальцитовых низкомагнезиальных мраморов, сформировались путем нагнетания низкомагнезиального карбонатного вещества в так называемую Комарскую структуру отслаивания при образовании Скалистой антиклинали (Слюдянский кристаллический..., 1981). Гигантозернистый низкомагнезиальный кальцитовый мрамор с действующего месторождения Перевал (Rasskazov et al., 2026, рис. 2–3) поставляется на Ангарский цементный завод. Предприятию Ангарскцемент уже более 60 лет (рис. 2). А розовые и белые монолитные блоки продаются в западноевропейские и др. страны, Москву, Санкт-Петербург и Новосибирск, где они используются в основном для облицовки стен и колонн станций метро. Утвержденные запасы мрамора по категориям А+В составляют 105 199 тыс. т, по категории С<sub>1</sub> — 34 394 тыс. т.

Месторождения других мраморов, например, розовых облицовочных мраморов и кальцифиров Динамитное и Буровщина (рис. 1, № 25) в окрестностях г. Слюдянка, образуются вблизи магматических гранитоидных интрузий слюдянского комплекса. Сырье этих месторождений используется для изготовления облицовочной плитки для внутренней отделки помещений.



**Рис. 2.** Значок, выпущенный к 60-летию предприятия Ангарскцемент.

**Fig. 2.** Badge issued for the 60th anniversary of the Angarskcement enterprise.

На дальнейшем интервале маршрута при следовании от отвалов месторождения Перевал студенты знакомятся со всеми разновидностями низкомагнезиальных мраморов месторождения, розовыми мраморами, кварц-апатит-диопсидовыми породами, флогопитом, волластонитом и др. карбонатными породами.

Вблизи придорожной турбазы-кафе можно поискать в склоновых россыпях правого борта долины розовый кварц, а далее по долине изучить кварц-диопсидовые и диопсидовые породы и другие кристаллические сланцы харагольской свиты, а также одно из самых популярных и посещаемых лазуритовых месторождений Студенческое (рис. 1, № 28) (Коваленко и др., 2023, с. 154) в правом ее борту недалеко от тропы, где отобрать образцы лазурита, скаполита (главколита), монмориллонита плагиоклаза, микроклина и др. красивых минералов, вмещающих карбонатных пород, прорывающих магматических и контактово-метаморфических и скарновых пород. Лазуритовая минерализация приурочена к наклонной зоне разлома мощностью до 2 м, секущей приконтактную часть гранит-пегматитов, в свою очередь, прорывающих доломитовые мраморы. Причем в региональном плане «Лазуритовая минерализация стратиграфически четко приурочена к одному из горизонтов мощной (более 200 м) пачки мраморов безьянской свиты и прослеживается по простиранию на 3.5–4.0 км» (Геологические памятники..., 1993, с. 39).

При дальнейшем продолжении маршрута до метеостанции «Хамар-Дабан» в высыпках и окружающих скалах можно наблюдать

различные карбонатные и гнейсовые породы безымянской свиты и прорывающие их граниты, микрограниты, гранит-пегматиты, часто с хорошими проростками кварца и полевого шпата — графического или еврейского камня.

В радиальных маршрутах в районе метеостанции «Хамар-Дабан» (на пик Черского (2048 м) и Чекановского (2068 м), к оз. Сердце и к пер. Чертовы Ворота) следует подробно изучить и зарисовать (сфотографировать) петрографические особенности, процессы метаморфизма и мигматизации метаморфических глиноземистых пород безымянской и хангарульской свит, последовательность и характеристику внедрения всех магматических жильных образований, минеральные и петрографические особенности их состава, а также характер взаимоотношений между собой; совершить маршрут на базальтовый покров, что находится западнее метеостанции «Хамар-Дабан» (рис. 1, № 29), изучить граниты, обнажающие в виде больших скал с западного края Казачьей поляны. Геология покрова прекрасно рассмотрена в монографии Байкал. Геология. Человек (2011, с. 59). В гнейсах корниловской и шубутуйской свит в отдельных небольших пегматитовых жилах может встретиться мусковит с размером пластин до 3x4 см.

В маршрутах от метеостанции по хр. Комар студенты могут познакомиться со следующими петрографо-минерально-минерагенические особенностями этой территории.

1. Последовательно изучать все геологические образования безымянской, харагольской, перевальной и култукской свит, верхинных базальтовых покровов и некков.

2. На интервале маршрута по перевальной свите — породы месторождения низкомагнетических мраморов Перевал-2 (рис. 1, № 10), открытого в 1975 г. сотрудниками Института земной коры СО РАН с участием автора статьи, благодаря подарку от природы в виде гигантского селя, вскрывшего не менее гигантский пласт гигантокристаллических мраморов. *«Мощность этого горизонта составляет около 800 м (против 100–200 м на известных месторождениях Перевал и Комарское), он весьма однороден по составу и строению, представлен гигантокристаллическими мраморами с весьма*

*незначительной (доли процента) примесью кварца, белого диопсида и графита. Среднее содержание MgO составляет менее 1 % (по 18 пробам), что а 2–3 раза меньше, чем на известных»* (Слюдянский кристаллический..., 1981, с. 180).

3. Примерно в 3.5–5 км от месторождения мраморов находится крупное месторождение базальтов Комарское (рис. 1, № 8) расположенное на водоразле рек Похабихи и Талой. Месторождение подготовлено для добычи в 1982 г., и по официальным документам расположено на водоразделе р.р. Похабихи и Талой в 4.5 км к западу от западной окраины г. Слюдянки и в 1.5 км от цеха вторичного дробления карьера «Перевал». Географические координаты: 51°39'2.21" с. ш. 103°31'0.75" в. д. (Коваленко и др., 2024, с. 176–178).

4. Если спуститься с Комара к Большой Быстрой, то можно изучить пегматитовую амазонитовую жилу (рис. 1, № 13), а, спустившись в долину р. Похабихи, — с Похабихским проявлением лазурита (рис. 1, № 28). Оба проявления были открыты автором статьи, когда он был еще студентом, в начале 70-х годов прошлого столетия.

Похабихское проявление лазурита (рис. 1, № 12) расположено в среднем течении р. Похабихи в 4 км от карьера Перевал. *«Экспедицией „Байкалкварцсамоцветы“ залежь прослежена на 11 м при средней мощности 0.7 м. В одной из траншей можно наблюдать две сближенные лазуритизированные будины гранитоидов размером 0.2–0.7 м, залегающие среди мраморов. Особенностью этой залежи является присутствие разновидностей лазурита вамилькового цвета. Такой тип близок лазуритам Памира, но не характерен для Южного Прибайкалья, где преобладает лазурит с фиолетовым оттенком»* (Геологические памятники..., 1993, с. 39).

5. А следуя по хорошей полевой дороге от месторождения Перевал-2 до Тункинского тракта, необходимо в карьере (рис. 3) месторождения Бурутуйского изучить породы с диопсид-кварцевой, диопсид-кварц-апатитовой и волластонитовой минерализацией. Здесь находится большое количество уникальных минералого-петрографических типов и разновидностей диопсида, кварца, кальцита, диопсидитов, кварцитов,

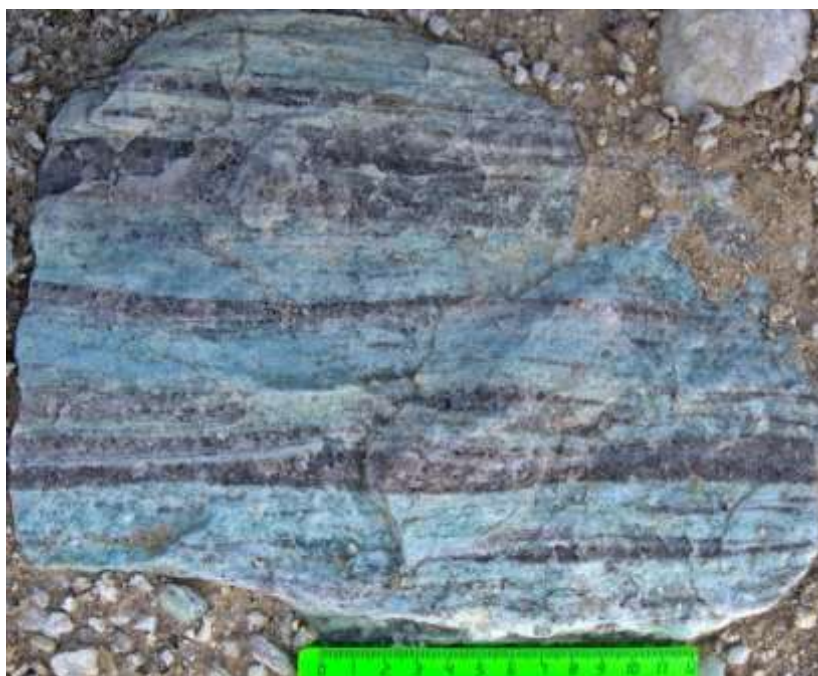
диопсидовых кварцитов и их переходных разновидностей (рис. 4). Эта группа кварц-диопсидовых пород образовалась в результате метаморфизма кремнисто-доломитовых и кремнисто-известково-доломитовых

отложений хемогенно-вулканогенного генезиса. В южной части карьера наблюдается пласт мощностью 20 м волластонитосодержащих пород асямовского карбонатного типа.



**Рис. 3.** Карьер Бурутуйского месторождения, июль 2024 г. Фото 0402-04.

**Fig. 3.** Burutuyskoye field quarry, July 2024, Photo 0402-04.



**Рис. 4.** Кварц-диопсид-апатитовая порода Бурутуйского месторождения. Фото 0372. Другие фото минерализации см. статью Коваленко и др. (2024).

**Fig. 4.** Quartz-diopside-apatite rock of the Burutui deposit. Photo 0372. For more photos of mineralization, see Kovalenko et al. (2024).

Остальные, выделенные на карте рис. 1 месторождения и проявления, подробно описаны в книге (Геологические памятники..., 1993, с. 20–25). Частично данные обновлены в современных книгах, статьях и в пособиях

для студентов (Байкал. Геология..., 2011; Коваленко, 2016, 2025).

Но нельзя остановиться на этом кратком обзоре минеральных ресурсов хамардабанского полигона практики, так как в этом районе имеются еще десятки новых, весьма

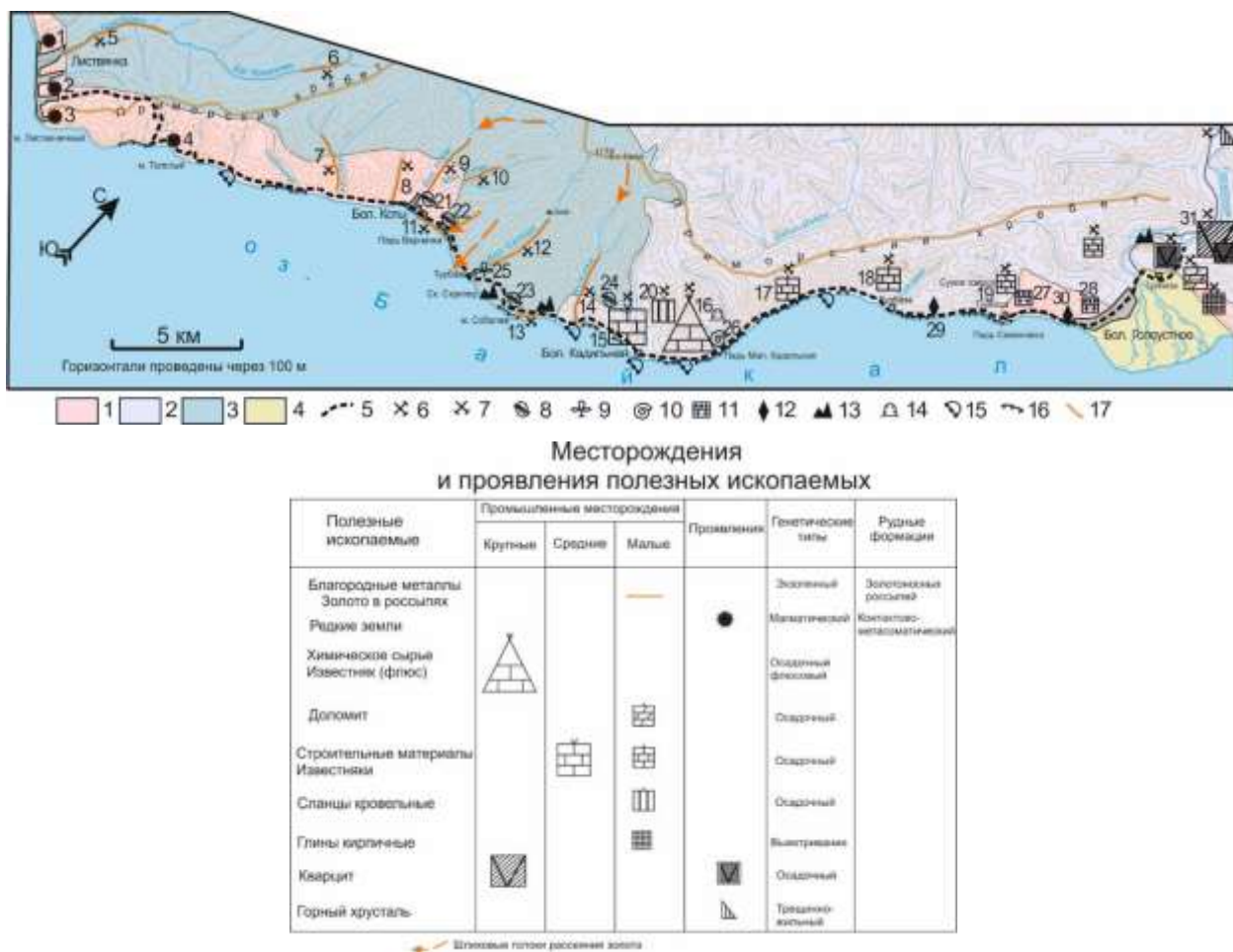
перспективных месторождений, рудопроявлений, пород и минералов, открытых в конце прошлого и начала нынешнего столетия. Здесь следует упомянуть впервые обнаруженный в нашей стране минерал афганит и новые, названные в честь сибирских геологов, минералы калининит, наталиит, флоренсовит, подробно изучены новые породы (гондиты) и десятки месторождений и проявлений волластонита, белого диопсида, которые оказались самыми чистыми, не имеющими аналогов в мире и весьма перспективными для промышленного освоения.

### **Байкальский полигон**

Месторождения, проявления полезных ископаемых, уникальные геологические объекты Байкальского полигона практики (рис. 5), подробно описаны в книге Геологические памятники Байкала, объяснительных записках к картам 1 : 200 000 масштаба (Аносов, 1965; Навиль, Руднева, 1966; Геологические памятники..., 1993, с. 64–66, 69–71; Леонов и др., 2019). Данные подправлены в современных пособиях, статьях и книгах (Байкал. Геология..., 2011; Коваленко, 2016, 2025). При этом сразу следует отметить, что эксплуатируемых месторождений на полигоне нет, т. к. он расположен в пределах территории Прибайкальского национального парка. Подробнее с геологическим строением полигона, как указывалось во введении, можно ознакомиться в учебном пособии по практике (Коваленко, 2016) и недавно вышедших обзорных статьях (Коваленко и др., 2023; Kovalenko, 2025).

Начать знакомство с минеральными ресурсами полигона следует с изучения в окрестностях пос. Листвянка ортитоносных

биотитовых гранитов и генетически с ними связанных пегматитовых жил (рис. 5, № 1–4), в которых устанавливается минерализация редких земель (главным образом церия). «Сумма окислов редкоземельных элементов в отдельных пробах гранитов достигает 0.294 %, а в пегматитах — 1.238 %, причем свыше 96 % из них приходится на окислы лантана и церия. На участке Копь Ортитовая (рис. 5, № 1) имеются выходы нескольких пегматитовых жил с ортитом. Одна из них мощностью 0.5–0.7 м прослежена по простиранию на 50 м. Минеральный состав жилы: полевой шпат, кварц, биотит, магнетит, титан, ортит, оранжит, циркон. Кристаллы ортита достигают величины 30x15x5 см. В валовой пробе из одного участка жилы определено содержание ортита 24 кг/м<sup>3</sup>. Химическим анализом ортита установлено содержание (в %):  $Se_2O_3$  — 17.92;  $V_2O_3$  — 1.92; Th — 1.32. Здесь же, на крутом склоне берега Байкала у дороги, в биотитовых гнейсах и ортоамфиболитах залегают серия субпараллельных жил гранита и пегматита с несколько повышенным содержанием монацита, циркона, цирколита. В пегматитовых образованиях мыса Лиственичного (рис. 5, № 3) содержатся ортит, циркон, фергюсонит, бетафит, менделеевит. Биотитовые ортитоносные граниты с монацитом установлены в окрестностях пос. Листвянки (рис. 5, № 2) и в пади Смородовой (рис. 5, № 4). Содержание ортита в гранитах здесь достигает 1 %. Спектральным анализом проб гранита установлено содержание церия 0.1–0.3 %; циркония — 0.01–0.03 %; иттрия — до 0.003 %.» (Геологическая карта..., 1973, с. 74–75).



**Рис. 5.** Обзорная карта месторождений, рудопроявлений и уникальных геологических образований Байкальского полигона практики (по Аносов, 1965; Навиль, Руднева, 1966; Леонов и др., 2019; с дополнениями и изменениями).

1–4 – структурно-вещественные комплексы: 1 – архейско-раннепротерозойский (жидойская свита шарыжалгайской архейской серии, раннепротерозойские интрузии умереннощелочных гранитов-гранодиоритов и субщелочных лейкократовых гранитов, аплитов и пегматитов шумихинского и приморского комплексов), 2 – рифейский (осадочные образования голоустенской, улунтуйской и качергатской свит байкальской серии), 3 – мезозойский (конгломераты галечные и валунно-галечные с прослоями песчаников, алевролитов и гравелитов дабатская и тальцинская свиты ранне-среднеюрского возраста. В цементе конгломератов отмечается кластогенное золото), 4 – кайнозойский (дельтовые речные галечники пески и алевролиты); 5 – основные направления маршрутов практики; 6–7 – промышленная освоенность месторождений: 6 – законсервированные, 7 – отработанные; 8–17 – уникальные геологические объекты (местоположение и наиболее характерные точки наблюдения): 8–11 – общегеологические: 8 – выходы сместителя Ангарского надвига, 9 – ископаемые растительные остатки юрского периода, 10 – рифейские строматолиты, 11 – контакт чехла Сибирской платформы с кристаллическим фундаментом; 12 – минералогические: выходы алюмомагниевого и алюмокалиевого квасцов, 13–17 – геоморфологические: 13 – крупные останцы выветривания, 14 – карстовые пещеры, 15 – байкальские соры, 16 – абразивный берег (клифы), 17 – осевые линии главных горных хребтов.

Цифрами на карте обозначены объекты: 1–4 – пегматитовые жилы: 1 – Копь Ортитовая, 2 – биотитовые ортитоносные граниты с монацитом в окрестностях пос. Листвянка, 3 – мыса Листвяничного и 4 – пади Смородовой; 5–14 – выработанные россыпи золота: 5 – р. Крестовка, 6 – р. Бол. Крестовка, 7 – падь Черная, 8 – падь Жилище (Ароновский прииск), 9 – р. Бол. Коты (Яковлевский прииск), 10 – р. Мал. Коты (Меркурьевский прииск), 11 – прибрежная полоса оз. Байкал между падами Мал. Сенная и Мал. Варначка (Елизаветинский прииск), 12 – падь Большая Сенная (прииски Спорный и Ново-Александровский), 13 – прибрежная полоса оз. Байкал около м. Соболев (Владимировский прииск), 14 – падь Нижняя (Всеволодовский прииск); 15–19 – месторождения известняков: 15 – Большекадильнинское, 16 – Малокадильнинское, 17 – Пади Безымянная, 18 – Пади Ушканья, 19 – Пади Семеновка; 20 –

Кадильнинское месторождение кровельных сланцев; 21–24 – выходы элементов Ангарского надвига: 21 – на водоразделе рр. Бол. и Мал. Коты, 22 – в устье пади Варначка, 23 – клипп вблизи мыса Соболев, 24 – двупластинный клипп в левом борту р. Нижней; 25 – растительные юрские ископаемые на р. Бол. Сенная; 26 – столбчатые рифейские строматолиты; 27–28 – выходы контакта кристаллического фундамента Сибирской платформы с осадочным чехлом: 27 – в левом борту пади Семеновка, 28 – около западной окраины пос. Бол. Голоустного; 29 – проявление алюмомагниевого и алюмокалиевого квасцов (каменное масло); 30 – большое обнажение blastomylonites линзовидно-линейной текстуры развитых по раннеротерозойским гранитоидам приморского комплекса; 31 – месторождение кварцитов Голоустенское.

**Fig. 5.** Overview map of deposits, ore occurrences and unique geological formations of the Baikal practice polygon (after Anosov, 1965; Navil & Rudneva, 1966; Leonov et al., 2019; with additions and changes).

1–4 – structural-material complexes: 1 – Archean-Early Proterozoic (Yiddish formation of the Sharyzhalgai series, intrusions of moderately alkaline granite-granodiorites and subalkaline leucocratic granites, aplites and pegmatites of the Shumikhinsky and Primorsky complexes), 2 – Riphean (sedimentary formations of the Golousten, Uluntui and Kachergat formations of the Baikal series), 3 – Mesozoic (pebble and boulder-pebble conglomerates with interlayers of sandstones, siltstones and gravelites of the Dabata and Taltsine Formations of Early-Middle Jurassic age. In the cement of conglomerates, clastogenic gold is noted), 4 – Cenozoic (deltaic river pebbles, sands and silts); 5 – the main directions of the internship routes; 6–7 – commercial development of fields: 6 – mothballed, 7 – depleted; 8–17 – unique geological objects (location and the most characteristic observation points): 8–11 – general geological: 8 – outcrops of the Angara thrust displacement, 9 – fossil plant remains of the Jurassic period, 10 – Riphean stromatolites, 11 – contact of the cover of the Siberian platform with the crystalline basement; 12 – mineralogical: outcrops of aluminum-magnesium and aluminum-potassium alum, 13–17 – geomorphological: 13 – large weathering remnants, 14 – karst caves, 15 – Baikal sors, 16 – abrasive shore (cliffs), 17 – axial lines of the main mountain ranges.

The numbers on the map indicate the following objects: 1–4 – pegmatite veins of the Ortitova Mine (1), biotite orthite-bearing granites with monazite in the vicinity of the village of Listvyanka (2), Cape Listvyanychny (3) and Smorodova valley (4); 5–14 – depleted gold placers of the Krestovka River (5), the Bol River. Krestovka (6), Chernaya Valley (7), Zhilishche Valley — Aaronovsky Mine (8), Bol River. Koty — Yakovlevsky mine (9), Mal. Koty - Merkurievsky mine (10), the coastal strip of lake. Baikal between the valleys of Mal. Sennaya and Mal. Varnachka - Elizavetinsky mine (11), Bolshaya Sennaya valley - Sporny and Novo-Aleksandrovsy mines (12), the coastal strip of lake. Baikal near Cape Sobolev — Vladimirovsky mine (13), Nizhnyaya valley — Vsevolodovsky mine (14); 15–19 – limestone deposits: Bolshekadilninskoye (15), Malokadilninskoye (16), Padi Bezymyannaya (17), Padi Ushkanya (18), Padi Semenovka (19); 20 – Kadilninskoye roofing shale deposit; 21–24 – outcrops of the displacement of the Angara thrust on the watershed of the rr. Bol. and Mal. Koty (21), at the mouth of the Varnachka valley (22), near Cape Sobolev (23), on the left side of the Nizhnyaya River (24); 25 – plant Jurassic fossils on the Bol River. Sennaya; 26 – Riphean stromatolites; 27–28 – outcrops of contact between the crystalline basement of the Siberian platform and the sedimentary cover on the left side of the Semenovka valley (27), near the western outskirts of the village of Bol. Goloustny (28, 29) – manifestation of aluminum-magnesium and aluminum-potassium alum (rock oil); 30 – a large outcrop of blastomylonites of lenticular linear texture developed according to the Early Rotherozoic granitoids of the Primorsky complex; 31 – Holoustenskoye quartzite deposit.

С 1842 по 1969 гг. в этом районе велась добыча золота. Разрабатывались россыпи по долинам рек западного побережья озера Крестовка, Большие и Малые Коты, Большая и Малая Сенная. За 51 год отработки в этом районе было добыто золота 10 пудов 12 фунтов 52 золотника 42 доли (Вокруг Байкала..., 2001), т. е. 168 кг 943 г и 888 мг.

В окрестностях поселков Листвянка и Бол. Коты в долинах рр. Бол. и Мал. Коты, Черная, Бол. Сенная, по падям Банной, Малой или

Правой Крестовке,левой или Большой Крестовке (рис. 5, № 7), а также по самой Крестовке рядом с поселком (рис. 5, № 5) до сих пор сохранились следы старательских работ в виде отвалов мелких горных выработок и карьеров. Старательская добыча на этих участках была прекращена в шестидесятых годах прошлого столетия (рис. 6). Никаких сведений о качестве, содержании, запасах и количестве добытого золота не сохранилось. Образование россыпного золота все

исследователи связывают с размывом базальных горизонтов юрских валунно-галечных конгломератов дабатской толщи.



**Рис. 6.** Драга в пос. Большие Коты. Фото Вильченко О., июль 1979 г. (Вильченко, 2026).

**Fig. 6.** Dredge in the village of Bolshie Koty. Photo by Vilchenko O., July 1979 (Vilchenko, 2026).

Добывалось золото и в приустьевых частях мелких речек и ручьев прибрежной полосы оз. Байкал, а также из маломощных небольших скоплений золотоносных рыхлых отложений, образовавшихся в результате гравитационного и пролювиального выноса материала и волноприбойной деятельности озерных вод. Это россыпи Прибрежная Соболевская (рис. 5, № 11 и 13)

К настоящему времени большинство россыпей с «богатым золотом» отработано, остались лишь участки с невысокими содержаниями или недоразведанные, но все они расположены в охранной зоне Байкала. В районе развиты россыпи 3-х типов: долинные, террасовые и прибрежные. Основное значение имеют долинные россыпи.

Вблизи же хамардабанского полигона практики золото встречается только в виде редких знаков в единичных шлихах по рекам Утулику и Хара-Мурину. Форма зерен пластинчатая и червеобразная. Размеры 0.8–1.0 мм. Цвет медово-желтый.

Кадильнинское месторождение кровельных сланцев (рис. 5, № 20) расположено в 2 км северо-западнее мыса Кадильного и

связано с отложениями качергатской свиты верхнего рифея. Тонкослоистые довольно сильно кливажированные серые сланцы наблюдаются в виде пласта мощностью 2 м. По составу относятся к слюдястым разновидностям. Сланцы легко разделяются на тонкие пластинки, сверлятся и проби в а ю т с я без разлома. По предварительным данным разведки, их запасы для открытой разработки составляют по категории С<sub>1</sub> 4000 м<sup>3</sup>, а для подземной разработки по категории С<sub>2</sub> 23 000 м<sup>3</sup>.

На берегу Байкала известны месторождения известняков (рис. 5, № 15–19), которые разрабатывались до середины прошлого столетия (рис. 7 и 8). Месторождения связаны с отложениями улунтуйской свиты и представлены кристаллическими и водорослевыми известняками и доломитами. Мощность продуктивных пластов колеблется в широких пределах — от 5 до 100 м. Для них характерны крайне изменчивые содержания MgO и беспорядочная перемежаемость высокомагнезиальных разностей с прослоями более чистых известняков.



**Рис. 7.** Современный вид вековой давности разработок известняков улунтуйской свиты на известь на м. Бол. Кадильный. Фото 0684.

**Fig. 7.** A century-old view of limestone mining of the Uluntuy Formation for lime on the Bol. Censer. Photo 0684.



**Рис. 8.** Обжиговая печь. Увеличенный фрагмент рис. 7. Фото 0685.

**Fig. 8.** Roasting furnace. Enlarged fragment of Fig. 7. Photo 0685.

Наиболее изучено Малокадильнинское месторождение (рис. 5, № 16) расположенное в 3.5 км на северо-восток от м. Кадильного. Кондиционные известняки представлены двумя пластами, разделенных 30-ти метровой пачкой песчанистых известняков и филлитовидных сланцев. Общее залегание пластов меняется в пределах  $310-340 \angle 20-50$ . Мощность нижнего пласта составляет 70 м, верхнего — 100 м. Мощность вскрыши для верхнего пласта колеблется от 0.2 до 2.5 м. Средний химический состав известняков верхнего пласта:  $\text{SiO}_2$  1.55 %,  $\text{R}_2\text{O}_3$  2.01 %,  $\text{CaO}$  51.93 %,  $\text{MgO}$  1.68 %,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0.06 %,  $\text{SO}_3$  0.08 %, потери при прокаливании 42.58 %. Нижнего пласта:  $\text{SiO}_2$  2.10 %,  $\text{R}_2\text{O}_3$  2.19 %,  $\text{CaO}$  50.70 %,  $\text{MgO}$  1.61 %,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0.07 %,  $\text{SO}_3$  0.25 %, потери при прокаливании 42.27 %. Качество известняков соответствуют кондициям на карбонатные породы для цементной промышленности, пригодны для производства воздушной извести 1 сорта, а также щебня для дорожного строительства. Запасы составляют по категории  $\text{C}_1$  56140 тыс. т, по  $\text{C}_2$  32 600 тыс. т.

Заслуживает изучения и обязательного посещения студентами в пади Малая Черемшанка месторождения кварцитов Голоуспенского, расположенного в 6 км к северо-востоку от пос. Бол. Голоуспенское в поле осадочных отложений голоуспенской свиты (рис. 5, № 31), осложненных складчато-разрывными нарушениями в зоне тектонического контакта с архейскими кристаллическими образованиями (Карта полезных..., 1965). Кварциты приурочены к карбонатно-кварцевым породам средней подсвиты голоуспенской свиты и делятся на две группы.

*«Первая группа представлена кварцитовидными песчаниками светло-серого цвета, образующими линзовидные горизонты и слои мощностью от 28 до 65 м. Они соответствуют динасовому сырью\* 2-го класса. Вторая группа состоит из песчаников красного, красно-бурого и лилового цветов, которые образуют залежь общей мощностью от 3 до 25 м (средняя 12.5 м), шириной 30–323 м и протяженностью 800 м. Длина отдельных прослоев кварцитовидных песчаников от 3–5 до 400 м, мощность 0.1–3.0 м. Песчаники этой группы имеют средний химический состав (%):  $\text{SiO}_2$  — 97.97;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 0.34;  $\text{TiO}_2$  —*

*0.03;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 1.14;  $\text{CaO}$  — 0.03; огнеупорность 1730–1760 °С и отвечают динасовому сырью 1-го класса. Запасы кат. А + В +  $\text{C}_1$  — 2563 тыс. т и кат.  $\text{C}_2$  — 233 тыс. т утверждены ГКЗ»* (Государственная геологическая..., 2009, с. 341 со ссылкой на Геологическая карта..., 1962). Кварциты второй группы имеют красивый вид в виде разнообразной формы красно-желтых пятен и полос причудливых очертаний.

\* Динасовыми называют огнеупорные изделия с содержанием кремнезема  $\text{SiO}_2$  не менее 94.5 %, изготавливаемые путем обжига сырца, сформованного из размолотых кварцитов на известковой или других связках. Основным сырьем для производства динасовых изделий являются кварциты с содержанием кремнезема не менее 95–97 %.

Из уникальных интересных объектов Байкальского полигона следует указать прежде всего на выходы плоскостей чешуй Ангарского надвига (рис. 5, № 21–24) хорошо описанных в ряде публикаций и пособий (Данилович, 1941, 1961; Сизых, 2001; Сизых В., Сизых А., 2005; Коваленко, 2016; Коваленко и др., 2023): на водоразделе рр. Бол. и Мал. Коты (21), в устье пади Варначка (22), клипп вблизи мыса Соболев (23), двупластинный клипп в левом борту р. Нижней (24); ископаемые остатки юрских растений на р. Бол. Сенная (рис. 5, № 25; Rasskazov et al., 2026, рис. 20), 26 – столбчатые рифейские строматолиты (рис. 9, рис. 5, № 26; Rasskazov et al., 2026, рис. 21–22); 27–28 – выходы контакта кристаллического фундамента Сибирской платформы с осадочным чехлом (рис. 5, № 27–28): в левом борту пади Семеновка (№ 27), около западной окраины пос. Бол. Голоуспенского (рис. 10). Вдоль всего контакта наблюдаются пестрые сланцы.

В скальных обнажениях на берегу Байкала недалеко от пос. Бол. Голоуспенское имеется проявление минеральных алюмомагниевого или алюмокалиевого квасцов (рис. 5, № 29) разнообразной окраски (каменного масла) с большим содержанием металлов (кальций, железо, медь, цинк, магний, хром и другие элементы, включая редкоземельные), весьма ценного и широко используемого в народной медицине. Здесь же в сопутствующих обнажениях ожелезненных кварцевых песчаников можно наблюдать по трещинам разводы окислов железа — кольца Лизеганга.

Недалеко от западной окраины пос. Бол. Голоустное возле автомобильной дороги возвышается большое скальное обнажение бластомилонитов (рис. 5, № 30) линзовидно-

линейной текстуры (рис. 11) развитых по раннеротерозойским гранитоидам приморского комплекса.



a)



б)

**Рис. 9.** Столбчатые строматолиты: вид сбоку (а), вид сверху (б).

**Fig. 9.** Columnar stromatolites: side view (a), top view (б).



**Рис. 10.** Обнажение контакта осадочного чехла Сибирской платформы, представленного темно-серыми доломитами и темно-серыми аргиллитами (3–4 см) в основании, с фундаментом, сложенным раннепротерозойскими гранитами-рапакиви гранитной формации приморского комплекса. Фото 2201.

**Fig. 10.** Exposure of the contact of the sedimentary cover of the Siberian platform, represented by dark-gray dolomites and dark-gray mudstones (3–4 cm) at the base, with the basement composed of Early Proterozoic rapakivi granites of the granite formation of the coastal complex. Photo 2201.



**Рис. 11.** Линзовидно-линейная текстура бластомилонитов по раннепротерозойским гранитоидам приморского комплекса.

**Fig. 11.** Lenticular linear texture of blastomylonites from the Early Proterozoic granitoids of the Primorsky complex.

На этом отрезке западного берега Байкала появляются первые байкальские соры, вначале в виде небольших отшнурованных от акватории Байкала заболоченных озерков (между м. Толстый и устьем пади Солонцова), а потом и с развитыми соровыми озерами (устье пади Нижней рис. 12, мыс.

Кадильный, между устьями падей Бол. и Мал. Кадильные и др.), в галечных косах которых можно изучить все породы близлежащего отрезка берега Байкала. Причем четко устанавливается западное направление переноса галечного материала.



**Рис. 12.** Соровое озеро в устье р. Нижней.

**Fig. 12.** Sorovoye Lake at the mouth of the Nizhnyaya River.

На всем протяжении маршрута вдоль берега Байкала, начиная перед м. Толстым, в местах распространения рыхлых террасовых или аллювиально-пролювиальных конусах выноса распространен абразивный берег (клифы) (Kovalenko, 2025, fig. 46), в которых можно подробно ознакомиться с современной историей развития озера.

### **Заключение**

В заключении следует отметить, что на территории, выбранной для проведения полевой учебной практики вдоль западного берега Байкала и на Хамар-Дабане в Слюдянском районе, описаны далеко не все виды минерального сырья и геологические достопримечательности, а лишь практически доступные в рамках учебной практики. При желании из 744 месторождений твердых, жидких, газообразных полезных ископаемых

и 53 месторождений подземных вод Иркутской области можно посетить нижеследующие.

Это, прежде всего карьер Малобыстринского месторождения лазурита на водоразделе рек Мал. Быстрая и Тулгуй, что находится в 15 км от тракта Култук – Монды. Месторождение открыто в 1780 году и в настоящее время законсервировано. Балансовые запасы месторождения в настоящее время по категориям А+В+С составляют 7 159 т, по категории С<sub>2</sub> — 16 654.2 т. По пути на месторождение следует изучить месторождение декоративных сиенитов с благородным серым и зеленовато-серым цветом. А немного дальше по хребту находится уникальное проявление метаморфических марганецсодержащих пород гондитов. На левом берегу р. Иркут в районе бывшего дома отдыха находится магмовыводящий канал-некк

олигоценых базальтов, а рядом «Быстринские конгломераты» — эоплейстоценовые грубообломочные аллювиально-пролювиальные отложения (Геологические памятники..., 1993, с. 53–55).

Недалеко от сворота с тракта в сторону р. Иркут или бывшего дома отдыха Анчук находится большой Быстринский карьер (рис. 1, № 1), вскрывший серую с коричневатыми оттенками валунно-галечную толщу отложившуюся в конце среднечетвертичного — начале позднечетвертичного времени, в которой встречаются гальки мусковит-турмалиновых гранитов с прекрасными черными кристаллами турмалина (Rasskazov et al., 2026, рис. 10).

Если совершить маршрут по Кругобайкальской железной дороге от Култука до порта Байкал, то можно изучить: 1) перидотиты Крутой Губы в виде будинированных тел древних ультрабазитов, 2) структурные и петрологические взаимоотношения пород щарыжалгайской архейской серии (мыс Бакланий), 3) на 112–120 км — будины карбонатных пород с различными минералами в субпластовых телах гранитов, 4) на так называемом проявлении «Белая выемка» на 103–105 км — типичные и эталонные апокарбонатные метасоматиты, редкие и уникальные минералы, благородную шпинель, 5) в окрестностях устья пади Мал. Шумиха 99–103 км, обнажается толща типичных гранулитов, интрузивные брекчии (агматиты), 6) непосредственно в поселке Байкал вдоль железной дороги на интервале 400 м — распространены доломитовые мраморы мощностью около 40 м с минеральными ассоциациями характерными для докембрийских комплексов Прибайкалья.

На Байкальском полигоне для расширения геологического кругозора необходимо совершить маршруты и ознакомиться со следующими объектами: 1) в маршруте по краю дельты р. Голоустной от поселка в восточном направлении до мыса Ушканий и далее по берегу Байкала до падей Левый и Правый Роговик (доломиты и пестрые сланцы голоустенской свиты, биотитовые плагиогнейсы и гнейсы, амфиболиты, раннепротерозойские граниты и пегматиты, дайки долерит-габбро-долеритового нерсинского комплекса позднего рифея северо-западного простирания)

(Геологические памятники..., 1993, с. 117–118), 2) карьер Перевальный опорного разреза манзурского аллювия (придорожная выемка автодороги Иркутск – Бол. Голустное, на водоразделе рр. Илга и Сухая) (Геологические памятники..., 1993, с. 118; Монгуш и др., 2023). При наличии времени можно совершить маршрут на г. Подкаменную, где также изучить манзурский аллювий. Гора находится к север-северо-востоку от пос. Бол. Голустное (Байкальский ход..., 2009, с. 104–105; Коваленко, 2016, с. 65–69, 106, 179), 3) аллювиальный конус выноса р. Голоустной (Байкальский ход..., 2009, с. 102; Коваленко, 2016, с. 179).

### Литература

Абрамович Г.Я., Галимова Т.Ф., Примина С.П. Организация и проведение работ по геологическому картированию : учеб.-метод. пособие. Иркутск : изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. 79 с.

Аносов В.С. Карта полезных ископаемых. Масштаб 1 : 200 000. N-48-XXXIV / ред. В.Д. Мац. Москва : ГУГК, 1965. 1 л. URL.: <https://www.geokniga.org/maps/7489> (дата обращения: 20.03.2026).

Байкал. Геология. Человек / сост.: М.И. Грудинин, И.С. Чувашова. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2011. 239 с.

Байкальский ход (научная экскурсия по Байкалу) / О.Т. Русинек, Г.Ф. Уфимцев, В.А. Фиалков. Новосибирск : Гео, 2009. 187 с.

Вильченко О. Драга в пос. Большие Коты // Природа Байкала : сайт. URL.: <https://nature.baikal.ru/phs/ph.shtml?id=54959&msid=216604&ysclid=mncxhaq3c6102092836> (Дата обращения: 10.03.2026).

Вокруг Байкала: Мини-энциклопедия. Путеводитель / авт.-сост. С.Н. Волков. 4-е изд., перераб. и доп. Иркутск : РИКО, 2001. 432 с.

Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Восточно-Саянская. Лист М-48-III. Объяснительная записка / сост. В.И. Навиль; ред. С.П. Коноплев. Москва : Мингео СССР, 1973. 100 с. URL.: <https://www.geokniga.org/maps/7277> (дата обращения: 20.03.2026).

Геологическая съёмка в областях развития метаморфических образований. Ленинград : Недра, 1972. 376 с. (Методическое пособие по геологической съёмке масштаба 1 : 50 000. Вып. 4. Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-т).

Геологическая съёмка метаморфических и метасоматических комплексов: Методическое пособие. Санкт-Петербург : Изд-во ВСЕГЕИ, 1996. 416 с.

Геологическая съёмка сложно дислоцированных комплексов : метод. пособие по геологической съёмке масштаба 1 : 50 000. Вып. 6. Ленинград : Недра, 1980. 239 с.

Геологические памятники Байкала / сост.: Г.В. Рязанов. Новосибирск : ВО «Наука», Сибирская издательская фирма, 1993. 160 с. URL.: <https://www.geokniga.org/books/29374> (дата обращения: 20.03.2026).

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-48 – Иркутск. Объяснительная записка. Санкт-Петербург : Картофабрика ВСЕГЕИ. 2009. 573 с. URL.: <https://www.geokniga.org/maps/8019> (дата обращения: 20.03.2026).

Геологическое картирование раннедокембрийских комплексов. Москва : Роскомнедра и др. 1994. 503 с. URL.: <https://www.geokniga.org/books/16418> (дата обращения: 20.03.2026).

Данилович В.Н. Метод поясов в исследовании трещиноватости связанной с разрывными смещениями : метод. руководство. Иркутск, 1961. 47 с. (Материалы по геологии и полезным ископаемым Иркутской области. Вып. 2 (XXIX))

Данилович В.Н. Тектоника юго-восточной окраины прибайкальской юры. Иркутск : ОГИЗ, 1941. 89 с.

Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Восточно-Саянская. Лист N-48-XXVII. Объяснительная записка / сост. Т.А. Дольник, Ф.В. Никольский; ред. Ю.П. Деев. Москва : Госгеолтехиздат, 1962. 89 с. URL.: <https://www.geokniga.org/maps/4219> (дата обращения: 21.03.2026).

Коваленко С.Н. Геология западного побережья оз. Байкал в окрестностях падей Большая и Малая Кадильная // Геология и окружающая среда. 2025. Т. 5, № 3. С. 54–93. DOI 10.26516/2541-9641.2025.3.54. EDN: ZLRYFT

Коваленко С.Н. Учебная полевая практика по геологической съёмке на Байкале : учеб. пособие. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2016. 183 с. URL.: <https://www.geokniga.org/books/13656> (дата обращения: 20.03.2026).

Коваленко С.Н., Декабрев И.К., Юрьев А.А., Богданова И.А. Учебная полевая практика по геокартированию на геологическом факультете Иркутского университета. 2023. Т. 3, № 2. С. 132–164. DOI 10.26516/2541-9641.2023.2.132.

Коваленко С.Н., Найданов Н.Д., Бондаренко А.М., Тугарёв С.Д., Трубачева Е.А., Орлов Г.М., Богданова И.А. Геолого-геоморфологическая основа полевой учебной практики по геокартированию на Хамар-Дабане // Геология и окружающая среда. 2024. Т. 4, № 3. С. 152–189. DOI 10.26516/2541-9641.2024.3.152

Кокунин М.В. Геология драгоценных и цветных камней Восточной Сибири : учеб. пособие. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2009. 331 с.

Леонов В.И., Кошкин В.В., Курбатова Е.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Селенгинская серия. Карта полезных ископаемых и закономерностей их размещения. М-48-IV (Бабушкин) / ред. В.П. Арсентьев. Москва : Роснедра, 2019. 1 л. URL.: <https://www.geokniga.org/maps/30469> (дата обращения: 20.03.2026).

Мазукабзов А.М., Сизых В.И. О покровно-чешуйчатом строении Западного Прибайкалья // Геотектоника. 1987. № 3. С. 87–90.

Методика картирования метаморфических комплексов : сборник / АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т геологии и геофизики; отв. ред. Н.Л. Добрецов. Новосибирск : Наука, 1980. 152 с.

Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 (второго издания). Версия 1.5 / ред. А.Ф. Морозов, О.В. Петров. Санкт-Петербург : Изд-во ВСЕГЕИ, 2021. 198 с. URL.: <https://www.geokniga.org/maps/41834> (дата обращения: 21.03.2026).

Монгуш А.Р. Сходство и различие состава среднеюрских и нижнеплиоценовых отложений на северо-западном берегу Байкала: Оценка вклада обломочного материала Приморского хребта в аллювий средней части долины Пра-Манзурки / А.Р. Монгуш, А.А. Бокарева, А.Н. Подлинов, В.В. Прокопчик, В.С. Риттер, Н.М. Максимов, В.С. Калинин, М.С. Зарипов, С.А. Дамбаев, С.Н. Коваленко, Т.А. Ясныгина, И.С. Чувашова, Е.В. Саранина, С.В. Рассказов // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 4. С. 51–81. DOI 10.26516/2541-9641.2023.4.51.

Навиль В.И., Руднева Л.А. Государственная геологическая карта Карта полезных ископаемых СССР. Масштаб: 1 : 200 000. Серия Восточно-Саянская. М-48-III / ред. С.П. Коноплев. Москва : ГУГК, 1966. 1 л. URL.: <https://www.geokniga.org/maps/7278> (дата обращения: 21.03.2026).

Петрографический кодекс. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Издание 2-е. Санкт-Петербург : Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. 200 с.

Полевые исследования при геологосъемочных работах масштаба 1 : 200 000 : метод. рекомендации. Вып. 3 / В.С. Антипов, В.И. Бергер, А.И. Бурдэ и др. Санкт-Петербург : Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 111 с.

Сизых В.И. Шарьяжно-надвиговая тектоника окраин древних платформ Новосибирск : Изд-во СО РАН, фил. «Гео», 2001. 154 с.

Сизых В.И., Сизых А.И. Шарьяжно-надвиговая тектоника : учеб. пособие. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2005. 196 с.

Слюдянский кристаллический комплекс / Е.П. Васильев, Л.З. Резницкий, В.Н. Вишняков, Е.А. Некрасова. Новосибирск : Наука, 1981. 197 с.

Снопков С.В., Богданова И.А. Слюдяной промысел в Прибайкалье в XVII–XIX веках // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 1. С. 156–165. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.156. EDN: KLCXHW

Шафеев А.А., Первалов О.В. Карта полезных ископаемых СССР. Масштаб: 1 : 200000. М-48-П. / ред. П.М. Хренов. Москва : ГУГК, 1966. 1 л. URL.: <https://www.geokniga.org/maps/821> (дата обращения: 20.03.2026).

Шульдинер В.И. Ермолаев Б.А. Геологическое картирование метаморфических формаций. БМОИП, отд. геол., 1993. Т. 68, вып. 5. С. 123–132.

Kovalenko S.N. Geology the western coast of Lake Baikal in the vicinity of the Bolshaya and Malaya Kadilnaya valleys // *Geology and Environment*. 2025. Vol. 5, No. 3. P. 54–93. DOI 10.26516/2541-9641.2025.3.54. EDN: ZLRYFT

Rasskazov S.V., Kovalenko S.N., Snopkov S.V., Zhang Bo, Yao Jinxian, Tang Min. The First Field Geological Practice of Peking University Students in the Baikal Region: Cenozoic Rifting in the Long-Evolution Lithosphere. 2026. Vol. 6, No. 1. P. 166–188. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.166. EDN: KTVUDN

## References

Abramovich G.Ya., Galimova T.F., Primina S.P. Organization and Conduct of Work on Geological Mapping: Educational Method. Manual. Irkutsk: Irkut Publishing House. State University, 2007. 79 p.

Anosov V.S. Map of minerals. Scale 1 : 200 000. N-48-XXXIV / red. V.D. Mats. Moscow : GUGK, 1965. 1 l. URL: <https://www.geokniga.org/maps/7489> (accessed: 20.03.2026).

Around Baikal: Mini-Encyclopedia. Guide. S.N. Volkov. 4th ed., revised and supplemented by Irkutsk: RICO, 2001. 432 p.

Baikal. Geology. Human being/ compilers: M.I. Grudinin, I.S. Chuvashova. Irkutsk, ISU Publ., 2011. 239 p.

Danilovich V.N. Method of Belts in the Study of Fractures Associated with Discontinuous Displacements: Method. Management. Irkutsk, 1961. 47 p. (Materials on Geology and Minerals of the Irkutsk Region. Issue 2 (XXIX))

Danilovich V.N. Tektonika yugo-vostochnogo okrainy pribaikalskoi jurassy [Tectonics of the southeastern margin of the Baikal Jurassic]. Irkutsk, OGIZ Publ., 1941. 89 p.

Dolnik T.A. Geological map of the USSR at a scale of 1 : 200 000. Sheet N-48-XXVII. Vostochno-

Sayanskaya series. Explanatory note / T.A. Dolnik [i dr.]. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1962. 89 p.

Field Studies in Geological Survey Works at a Scale of 1 : 200 000 : Method. Recommendations. Iss. 3 / V.S. Antipov, V.I. Berger, A.I. Burde et al. St. Petersburg: VSEGEI Publ., 2000. 111 p.

Geological map of the USSR at a scale of 1 : 200 000. Vostochno-Sayanskaya series. Sheet M-48-III. Explanatory note. V.I. Navil; Ed. by S.P. Konoplev. Moscow: Mingeo SSSR, 1973. 100 p.

Geological monuments of Lake Baikal / compiled: G.V. Ryazanov. Novosibirsk: VO "Nauka", Siberian Publishing Firm, 1993. 160 p.

Geological survey in the areas of development of metamorphic formations. Leningrad, Nedra Publ., 1972. 376 p. (Methodical Manual for Geological Surveying at a Scale of 1 : 50 000. 4. All-Union. nauch.-issledovatel. geol. in-t).

Geological survey of complex dislocated complexes : method. manual on geological survey at a scale of 1 : 50 000. Iss. 6. Leningrad : Nedra, 1980. 239 p.

Geological survey of metamorphic and metasomatic complexes: Methodological manual. St. Petersburg: VSEGEI Publ., 1996. 416 p.

Geologicheskoe kartirovaniye ranneocambriskikh kompleksov. Moskva : Roskomnedra i dr. 1994. 503 p.

Kokunin M.V. Geology of Precious and Non-ferrous Stones of Eastern Siberia: Textbook. Irkutsk: Publishing house of IPU, 2009. 331 p.

Kovalenko S.N. Educational field practice on geological surveying on Baikal. Manual. Irkutsk, ISU Publ., 2016. 183 p.

Kovalenko S.N. Geology of the Western Coast of Lake Baikal in the vicinity of the Bolshaya and Malaya Kadilnaya valleys. 2025. Vol. 5, No. 3. P. 54–93. DOI 10.26516/2541-9641.2025.3.54. EDN: ZLRYFT

Kovalenko S.N., Dekabrev I.K., Yuriev A.A., Bogdanova I.A. Educational field practice on geomapping at the Geological Faculty of Irkutsk University. 2023. Vol. 3, No. 2. P. 132–164. DOI 10.26516/2541-9641.2023.2.132.

Kovalenko S.N., Naydanov N.D., Bondarenko A.M., Tugarev S.D., Trubacheva E.A., Orlov G.M., Bogdanova I.A. Geological and geomorphological basis of field educational practice for geocarting in Khamar-Daban. 2024. Vol. 4, No. 3. P. 152–189. DOI 10.26516/2541-9641.2024.3.152

Leonov V.I., Koshkin V.V., Kurbatova E.I. State Geological Map of the Russian Federation at a Scale of 1 : 200 000. Second Edition. Selenginskaya Series. Map of Minerals and Regularities of Their Location. M-48-IV (Babushkin) / red. V.P. Arsenyev. Moscow : Rosnedra, 2019. 1 l. URL: <https://www.geokniga.org/maps/30469> (accessed: 20.03.2026).

Mazukabzov A.M., Sizykh V.I. On the integument-scaly structure of the Western Baikal region. 1987. No. 3. P. 87–90.

Methodical Guide to the Compilation and Preparation for Publication of Sheets of the State Geological Map of the Russian Federation at a Scale of 1:200,000 (Second Edition). Version 1.5. St. Petersburg: VSEGEI Publ., 2021. 198 p.

Metodika kartirovaniya metamorphicheskikh kompleksov : sbornik / AN SSSR. Sib. otd-nie. In-t geologii i geofiziki; otv. red. N.L. Dobretsov. Novosibirsk : Nauka, 1980. 152 p.

Mongush A.R. Similarities and differences in the composition of Middle Jurassic and Lower Pliocene sediments on the northwestern shore of Lake Baikal: Assessment of the contribution of clastic material from the Primorsky Range to the alluvium in the middle part of the Pra-Manzurka valley / A.R. Mongush, A.A. Bokareva, A.N. Podlinov, V.V. Prokopchik, V.S. Ritter, N.M. Maksimov, V.S. Kalinin, M.S. Zaripov, S.A. Dambaev, S.N. Kovalenko, T.A. Yasnygina, I.S. Chuvashova, E.V. Saranina, S.V. Rasskazov // Geology and Environment : electronic scientific journal. 2023. Vol. 3, No. 4. P. 51–81. DOI 10.26516/2541-9641.2023.4.51.

Navil V.I., Rudneva L.A. State Geological Map of Minerals of the USSR. Scale: 1 : 200 000. Vostochno-Sayan Series. M-48-III / red. S.P. Konoplev. Moscow : GUGK, 1966. 1 l. URL: <https://www.geokniga.org/maps/7278> (accessed: 21.03.2026).

Petrograficheskie kodeks. Magmaticheskie, metamorphicheskie, metasomaticheskie, impactnye obrazovaniye. Izdanie 2-e. St. Petersburg : Izd-vo VSEGEI, 2008. 200 p.

**Коваленко Сергей Николаевич,**

*кандидат геолого-минералогических наук,  
664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,  
Иркутский государственный университет, геологический факультет,  
доцент кафедры динамической геологии,  
тел.: (3952)20-16-39,  
электронный адрес: [igpug@mail.ru](mailto:igpug@mail.ru)*

**Kovalenko Sergey Nikolaevich,**

*Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,  
Lenin st., 3, Irkutsk, 664025, Russia,  
Irkutsk State University, Faculty of Geology,  
Associate Professor of the Department of Dynamic Geology,  
tel.: (3952)20-16-39,  
email: [igpug@mail.ru](mailto:igpug@mail.ru)*

Rasskazov S.V., Kovalenko S.N., Snopkov S.V., Zhang Bo, Yao Jinxian, Tang Min. The First Field Geological Practice of Peking University Students in the Baikal Region: Cenozoic Rifting in the Long-Evolution Lithosphere. 2026. Vol. 6, No. 1. P. 166–188. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.166. EDN: RVGZVL

Shafeev A.A., Perevalov O.V. Map of Minerals of the USSR. Scale: 1 : 200 000. M-48-II. / red. P.M. Khrenov. Moscow : GUGK, 1966. 1 l. URL: <https://www.geokniga.org/maps/821> (accessed: 20.03.2026).

Shuldiner V.I., Ermolaev B.A. Geologicheskoe kartirovanie metamorphicheskikh formatsii. BMOIP, otd. geol., 1993. Vol. 68, iss. 5. P. 123–132.

Sizykh V.I. Sharyazhno-nadthrugovaya tektonika okrainov drevnykh platformov Novosibirsk: Izd-vo SB RAS, fil. Geo, 2001. 154 p.

Sizykh V.I., Sizykh A.I. Sharyazhno-nadthrugovaya tektonika [Sharyazhno-nadthrugovaya tektonics]. Manual. Irkutsk, ISU Publ., 2005. 196 p.

Slyudyansky crystal complex / E.P. Vasilyev, L.Z. Reznitsky, V.N. Vishnyakov, E.A. Nekrasova. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981. 197 p.

Snopkov S.V., Bogdanova I.A. Mica mining in the Baikal Region in the 17th–19th centuries // Geology and Environment. 2026. Vol. 6, No. 1. P. 156–165. DOI 10.26516/2541-9641.2026.1.156. EDN: RVGZVL

Vilchenko O. Draga in the village of Bolshie Koty // Nature of Baikal: site. URL: <https://nature.baikal.ru/phs/ph.shtml?id=54959&msid=216604&ysclid=mncxaq3c6102092836> (accessed 10.03.2026).

## Правила для авторов

### *Правила предоставления статей*

В сериальном периодическом электронном издании журнала «Геология и окружающая среда» публикуются материалы научно-образовательного направления, отражающие теоретические, методические и практические результаты научной деятельности молодых и зрелых геологов и географов — научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, студентов магистерской и бакалаврской подготовки. Кроме научных статей, в журнале помещаются рецензии и отзывы на монографии, учебники, учебные пособия, сборники научных трудов. Важное место отводится тематическим обзорам и событиям научно-учебной деятельности вузов по профилю издания. Важной задачей журнала является опубликование научных статей (в авторстве или соавторстве) студентов, аспирантов и молодых научных сотрудников.

Ответственность за достоверность изложения фактов в публикуемых материалах, плагиат (вольный или невольный) несут авторы. Все заимствованные в рукописи элементы (графика, текст, первичные данные) должны обязательно сопровождаться соответствующими корректными ссылками или разрешением правообладателя.

Мнение редколлегии может не совпадать с мнением авторов. Журнал является рецензируемым. Опубликование рукописей бесплатное. Гонорар авторам не выплачивается.

Рукописи статей присылаются на электронные адреса редакции или ответственного секретаря: [kaf-dinamgeol@mail.ru](mailto:kaf-dinamgeol@mail.ru) или [igrug@mail.ru](mailto:igrug@mail.ru). Работа должна быть полностью подготовлена для печати. Редакция оставляет за собой право вносить правки по согласованию с авторами. Приемка работ в рукописном или бумажном виде, требующем технического оформления, возможна за дополнительную плату с заключением договора.

Требуется акт экспертизы и официальное направление от организации на опубликование статьи в журнале Геология и окружающая среда на бланке организации (в электронном виде в формате JPEG). Ссылки на неопубликованные материалы других авторов и организаций не допускаются.

На отдельной странице в редакцию присылается авторская справка, содержащая фамилию, имя, отчество, ученую степень, звание, должность, место работы, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты каждого автора. Необходимо указать фамилию автора, ответственного за прохождение статьи в редакции. Желательно указать трех специалистов, работающих по тематике статьи, как возможных рецензентов. Решение по вопросам рецензирования рукописей принимаются редколлегией.

### *Правила оформления статей*

Рекомендуемый объем присылаемых для публикации в журнале научных статей — 1.5 печатных листа или 24 страницы с нижеследующими параметрами. На первой странице указывается УДК, далее на русском и английском языках приводятся: название статьи; инициалы и фамилия авторов, название учреждений, где работает каждый автор; аннотация и ключевые слова. Аннотация должна содержать 150–200 слов, количество ключевых слов — не более 8. Точку в конце ключевых слов не ставим, а также не забываем в английском названии статьи производить капитализацию, как это принято для английских заголовков.

Стиль основного текста «Обычный», шрифт — Times New Roman, размер 12, межстрочный интервал 1, красная строка 0.5 мм, поля по 2.5 см.

Цитируемый текст выделяется курсивным шрифтом. Представлять работы необходимо в формате текстового редактора Word или RTF. Более подробная информация об авторах дается в конце статьи (см. примеры в последнем выпуске).

В тексте статьи не допускаются сокращения (кроме стандартных); сокращенные названия поясняются при первом упоминании; все местные географические названия должны быть

проверены. Применяется международная система единиц измерения СИ. В расчетных работах необходимо указывать авторов используемых программ.

Не допускается использовать при наборе:

- более одного пробела;
- пробелы в конце абзацев;
- формирование красной строки с помощью пробелов;
- автонумерацию (нумерованные и маркированные списки) в главах и абзацах;
- принудительную (ручную) или автоматическую расстановку переносов в словах;
- знаки меньше (<) и больше (>) в Аннотациях.

Вставленные в работу рисунки должны дублироваться отдельными файлами в графических форматах: .jpg, .crt и .cdr с разрешением не менее 300 dpi. Их размер должен быть не менее 8 см по ширине, а максимальный размер не должен превышать 17x24.5 см. Количество рисунков в статье не должно превышать 10. Рисунки должны иметь все необходимые обозначения и подписи на русском и английском языках. Редактирование рисунков средствами программы Word недопустимо.

Ссылки на рисунки приводятся в круглых скобках в формате: (рис. 1) или (рис. 1, 2) или (рис. 1–4).

Если рисунок единственный в статье, то он не нумеруется, а слово «рис.» в подписи к нему не пишется. Ссылка в тексте на него — (рисунок).

При представлении материалов по конкретным объектам, статья должна содержать обзорную карту или схему, на которой показан район исследований. На картах необходимо указывать географические координаты, а на рисунках — ориентировку и линейный масштаб. Обозначения сторон света, широт и долгот должны быть указаны на русском языке.

Вставленные в работу таблицы книжного формата, должны иметь ширину не более 16.5 см, альбомного — 24.5 см; табличный шрифт Times New Roman, размер 11, межстрочный интервал 1, иметь сквозную порядковую нумерацию в пределах статьи, ссылки на таблицы приводятся в круглых скобках в формате: (табл. 1) или (табл. 1, 2) или (табл. 1–4). Если таблица единственная в статье, то она не нумеруется, а слово «Таблица» в названии не пишется. Ссылка на нее — (таблица). Номера и названия таблиц даются на русском и английском языках.

Компьютерные единицы пишутся в русской аббревиатуре (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Общепринятые компьютерные единицы и их сокращения**

Table 1

**Commonly used computer units and their abbreviations**

Название	Аббревиатура русская	Аббревиатура ан-глийская	Значение
Бит	б	bit (b)	0 или 1
Байт	Б	Byte (B)	8 бит
Килобит	Кбит (кб)	kbit (kb)	1000 бит
Килобайт	Кбайт (КБ)	Kbyte (KB)	1024 байта
Мегабит	Мбит (Мб)	mbit (mb)	1000 килобит
Мегабайт	Мбайт (МБ)	Mbyte (MB)	1024 килобайт
Гигабит	Гбит (Гб)	gbit (gb)	1000 мегабит
Гигабайт	Гбайт (ГБ)	GByte (GB)	1024 мегабайта
Пиксел	пк	px	1 пиксел
Мегапиксел	Мпк	Mpx	1000000 пикселей

Примечание: ...

Перед тем, как вставить в статью диаграммы Exel и Word, их необходимо преобразовывать в рисунки формата .jpg.

Формулы и уравнения, на которые в статье делаются ссылки, следует печатать с красной строки. В формулах между знаками ставятся пробелы.

Длинные формулы необходимо разбить на несколько строк (с учетом печати текста в две колонки). Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках соотношений, во вторую очередь — на многоточии, на знаках сложения и вычитания, в последнюю — на знаке умножения в виде косоугольного креста. Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, должен быть повторен в начале следующей строки.

Формулы и уравнения нумеруются в порядке следования по тексту статьи с правой стороны. Ссылки в тексте на формулу или уравнение обозначаются числом в круглых скобках: (1), (2), (3).

В журнале принято использование разделительного (десятичного) знака точки. Следует избегать смешанного употребления русских и латинских символов в одной статье. Все греческие и специальные символы печатаются через опции «Вставка» и «Символ».

Статью желательно разбивать на разделы, отражающие ее содержание. Допускаются следующие стандартные рубрики статьи: «Введение», «Исходные данные», «Методы исследования», «Результаты исследования», «Обсуждение результатов», «Выводы», «Заключение»; можно ввести раздел «Результаты и их обсуждение». Другие необходимые автору рубрики помещаются в начале соответствующего абзаца. Если работа выполнена при поддержке какого-либо гранта или технической поддержке преподавателя или аналитика, то эта информация приводится в конце статьи с рубрикой «Благодарности».

Так как журнал является сетевым, его текст форматируется при использовании html-разметки, то постраничные ссылки лучше сразу делать после знака ссылки в виде звездочки внутри текстового набора, например, «Южная часть Балтийской котловины освободилась ото льда и была занята Южно-Балтийским ледниковым озером около 13 тыс. лет назад<sup>\*</sup>. В дальнейшем Южно-Балтийское ледниковое озеро объединилось с остатками озера Рамзея, занимавшего современную акваторию Финского залива и часть прилегающей суши.

<sup>\*</sup> В работах 1990-х гг. приводились датировки <sup>14</sup>C без поправки на временные вариации солнечной радиации. При пересчете на календарную дату возраст события может превысить 15 тыс. лет. В дальнейшем изложении реконструкций этих авторов приводится только общая последовательность событий без датировок.

В результате образовалось единое Балтийское ледниковое озеро, представляющее самую раннюю стадию развития Балтики. Это событие относилось к началу аллерёда.»

В конце рукописи необходим список использованной и цитируемой литературы, оформленный в соответствии с правилами библиографического описания литературных источников под заголовком «Литература» в алфавитном порядке: сначала русские работы, затем иностранные. Русские источники переводятся на английский язык и помещаются в конце списка под названием «Перевод на английский язык» (References).

При ссылках на литературу в тексте работы приводятся фамилия автора с инициалами (двух авторов или первого автора в сочетании с «и др.», если количество авторов три и более) и год публикации в круглых скобках, например: «как сообщает А.И. Петров (2016)». Если автор публикации в тексте не указывается, то ссылка должна иметь следующий вид: «по данным (Петров, 2016) это...». Ссылки на публикации одного и того же автора, относящиеся к одному году, обозначаются буквенными индексами: (Петров, 2016а, 2016б, 2016в). При ссылке на работы двух и более авторов фамилии указываются в годично-алфавитном порядке: (Белов и др., 2017; Сидоров, 2016; Natton, 2014; Peyerl et al., 2018) (см. примеры в статьях последнего номера журнала).

В списке литературы работы не нумеруются, инициалы имен и отчеств пробелом не отделяются. Каждая работа должна занимать отдельный абзац.

Пример:

Федонкин М.А. Две летописи жизни: опыт сопоставления (палеобиология и геномика о ранних этапах эволюции биосферы) // Проблемы геологии и минералогии. Сыктывкар : Геопринт, 2016. С. 331–350.

Марков А.В., Куликов А.М. Происхождение эукариот как результат интеграционных процессов в микробном сообществе // Доклад в Институте биологии развития 29 января, 2019. Режим доступа: [http://evolbiol.ru/dok\\_ibr2009.htm](http://evolbiol.ru/dok_ibr2009.htm). (дата обращения: 23.10.2023).

Допускаются ссылки на открытые отчеты геологических фондов.

### **Шаблон статьи**

Почтовый адрес редакции: 664025, г. Иркутск, ул. Ленина, д. 3, Геологический факультет Иркутского государственного университета.

Электронный адрес редакции: [kaf-dinamgeol@mail.ru](mailto:kaf-dinamgeol@mail.ru).

Полнотекстовые электронные точные копии журнала и статей в формате .PDF публикуются по адресу: <http://geoenvir.ru>.

*Редколлегия журнала*