

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^{1,2}, И.А. Асламов³, С.В. Снопков^{2,4}, Е.П. Чебыкин¹, А.М. Ильясова¹,
И.С. Чувашова^{1,2}

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

²Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

³Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

⁴Иркутский 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^{1,2}, I.A. Aslamov³, S.V. Snopkov^{2,4}, E.P. Chebykin¹, A.M. Ilyasova¹, I.S. Chuvashova^{1,2}

¹*Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia*

²*Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

³*Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia*

⁴*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

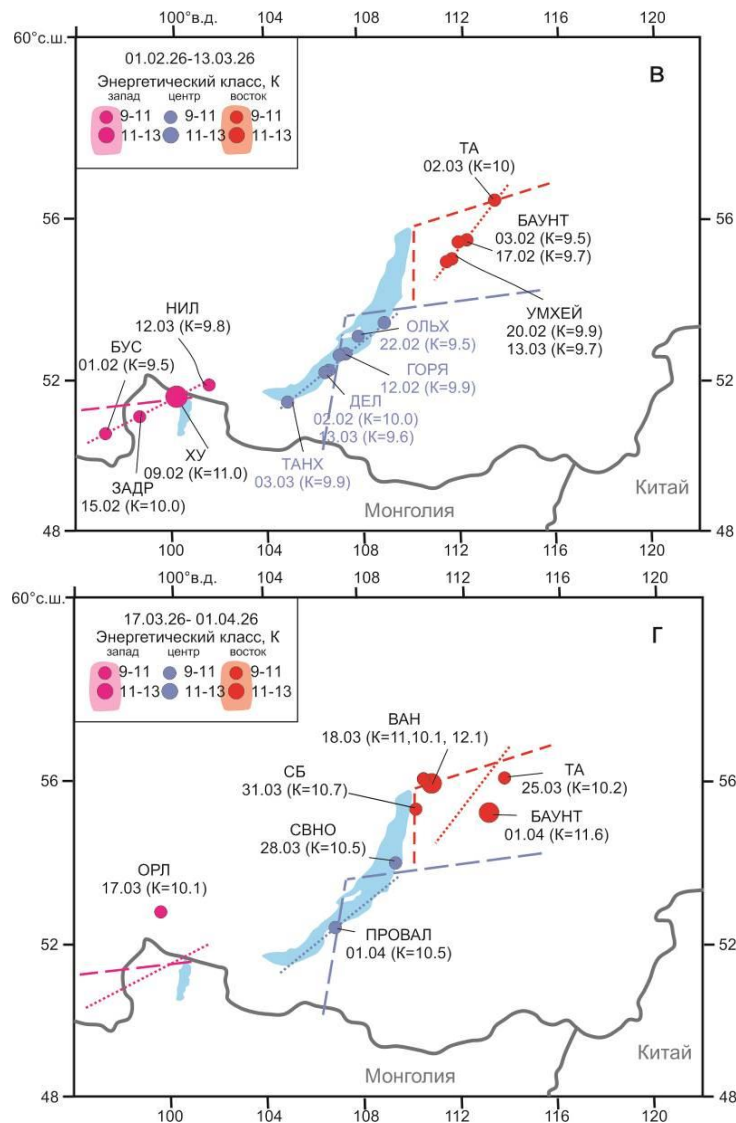


Рис. 1. График временного изменения энергетического класса (K) землетрясений БРС с 1 ноября 2025 г. до 1 апреля 2026 г. (а) и схема пространственного распределения эпицентров землетрясений БРС: 05.01–02.02.2026 (б), 01.02–13.03.2026 (в) и 17.03–01.04.2026 г. В БРС различаются тренды землетрясений запада,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

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).

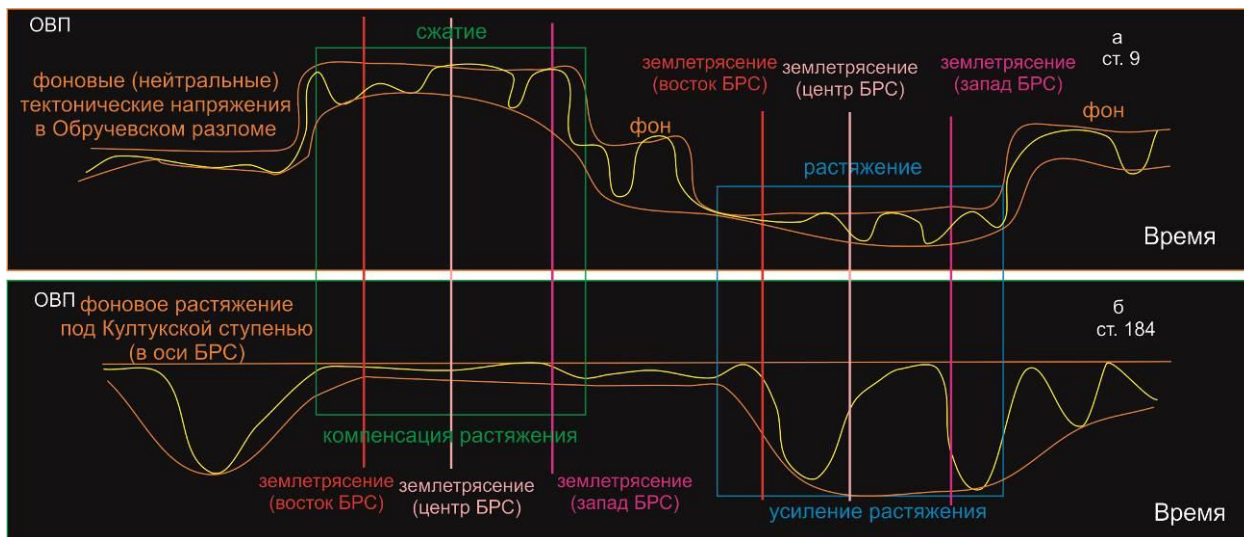


Рис. 3. Схематичные диаграммы интерпретации откликов ОВП на землетрясения разных частей БРС при сжатии и растяжении земной коры в Обручевском разломе – под ст. 9 (а) и при компенсации и усилении растяжения под Култукской тектонической ступенью – под ст. 184 (б). Здесь и далее информация по землетрясениям 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 Obryuchev 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.

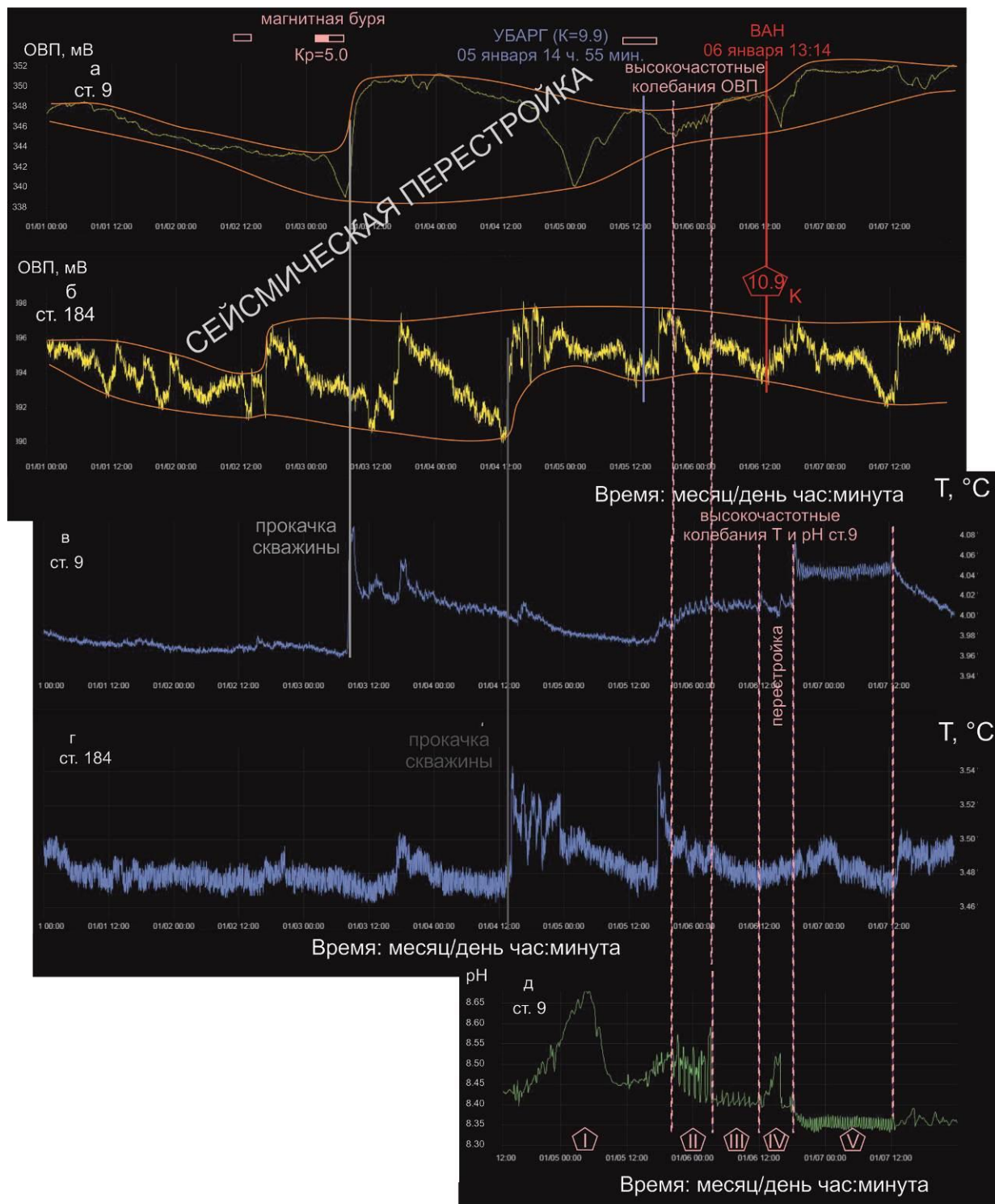


Рис. 4. Диаграммы вариаций ОВП 01–07 января 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, г). Для иллюстрации отрезков высокочастотных электрохимических колебаний, связанных с возмущениями магнитосферы, дополнительно приводится 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 (c, d). 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.

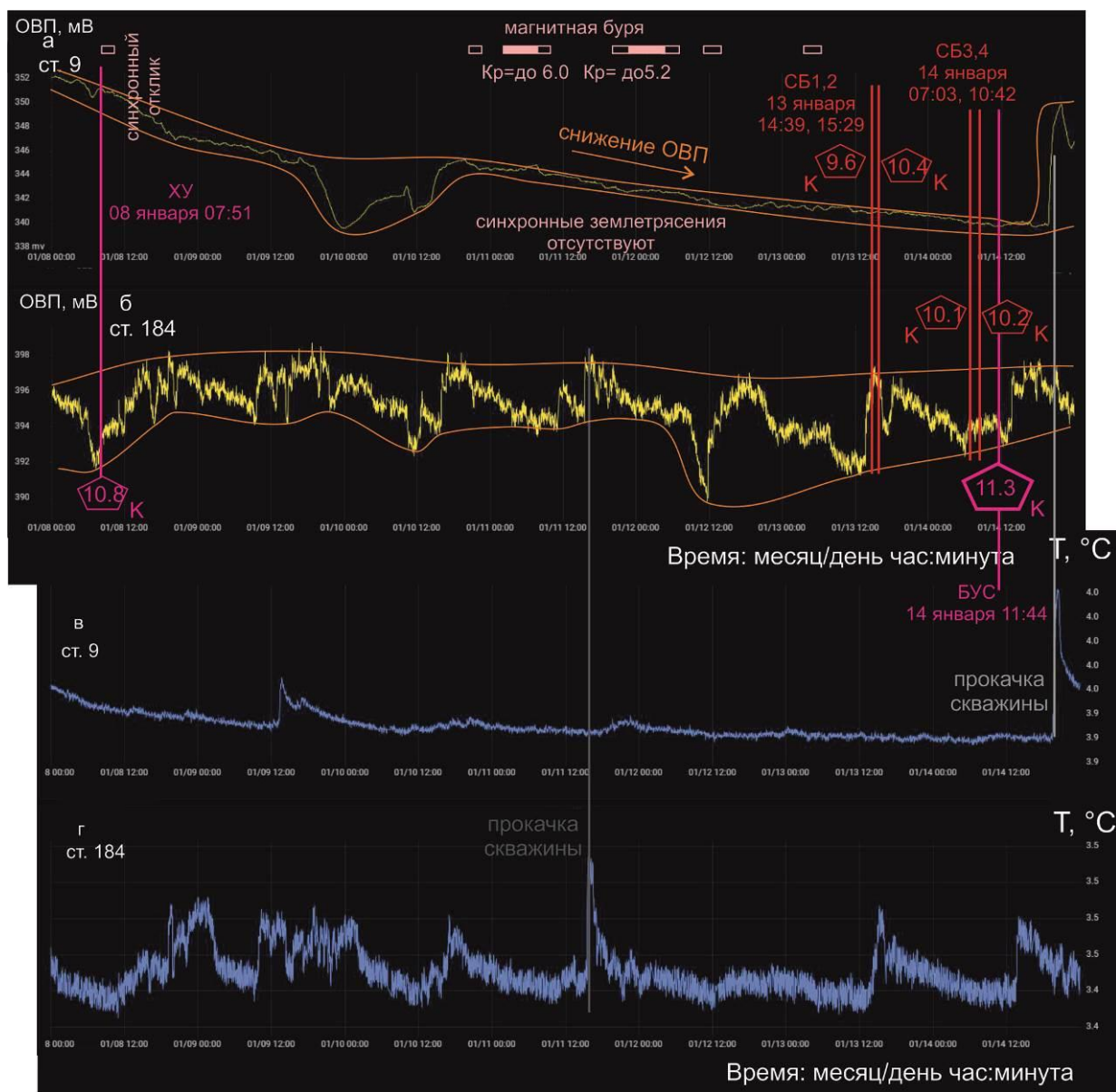


Рис. 5. Диаграммы вариаций ОВП 08–14 января 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, г). ХУ – событие Хубсугульского афтершокового кластера землетрясений; СБ – событие эпицентрального кластера Северо-Байкальского 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 (б) in comparison with temperature variations in groundwater of the same stations (в, г). 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.

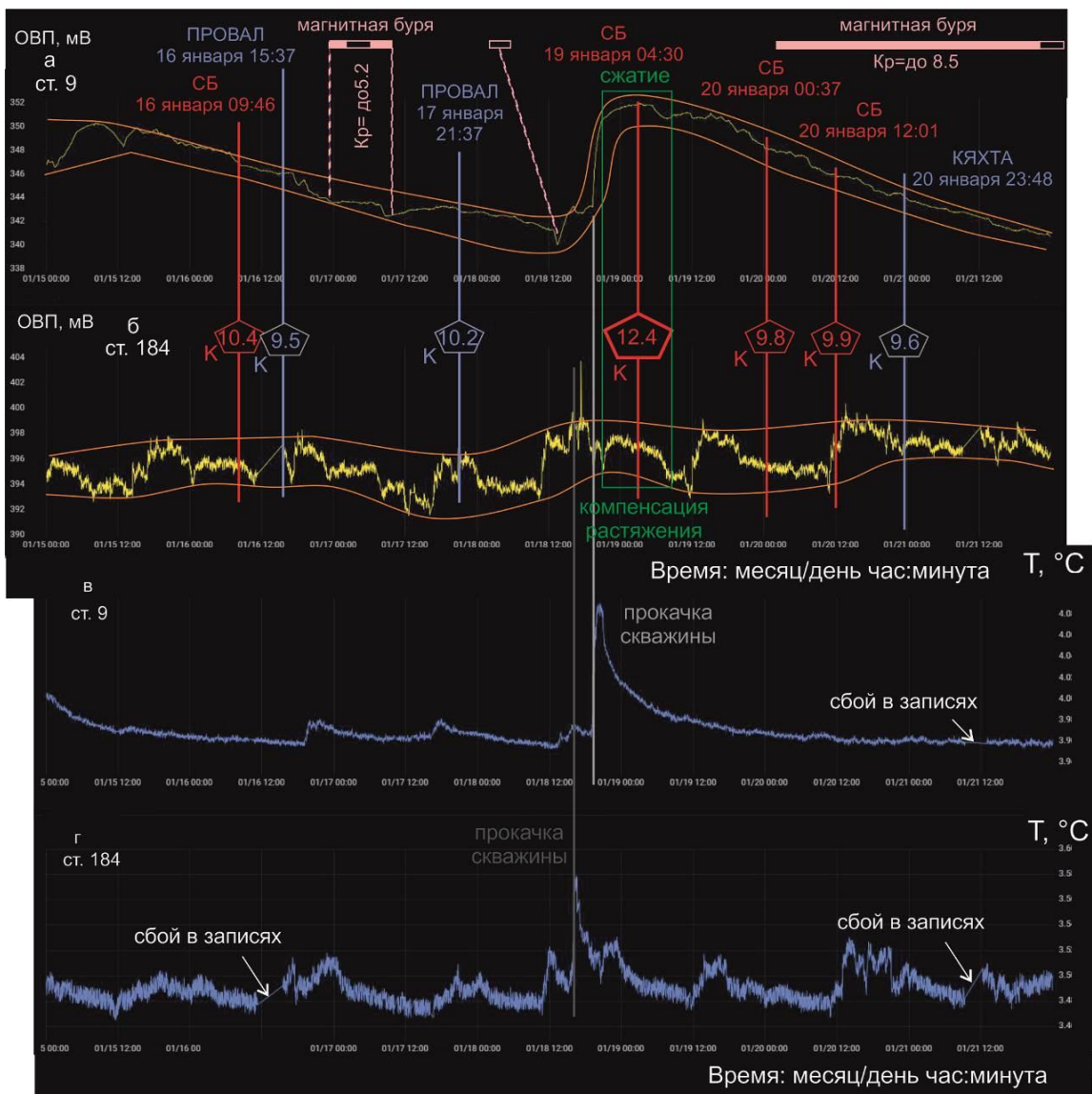


Рис. 6. Диаграммы вариаций ОВП 15–21 января 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, г). ХУ – событие Хубсугульского афтершокового кластера землетрясений; ПРОВАЛ и КЯХТА – события залива Провал и района Кяхты в центре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

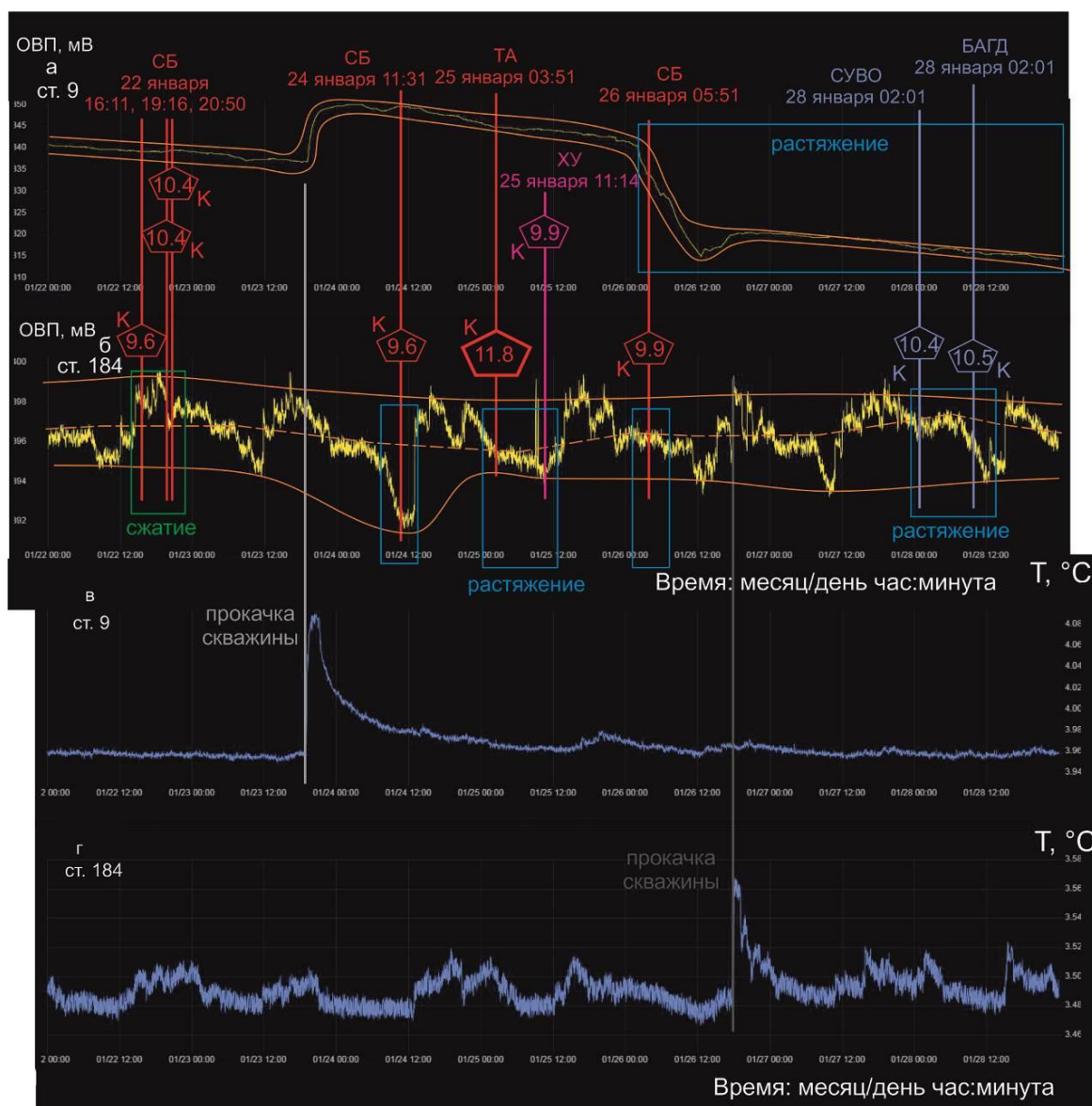


Рис. 7. Диаграммы вариаций ОВП 22–28 января 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з). СУВО и БАГД – события Суво и района Багдарина в угловой группе землетрясений центра БРС (широтная ветвь).

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).

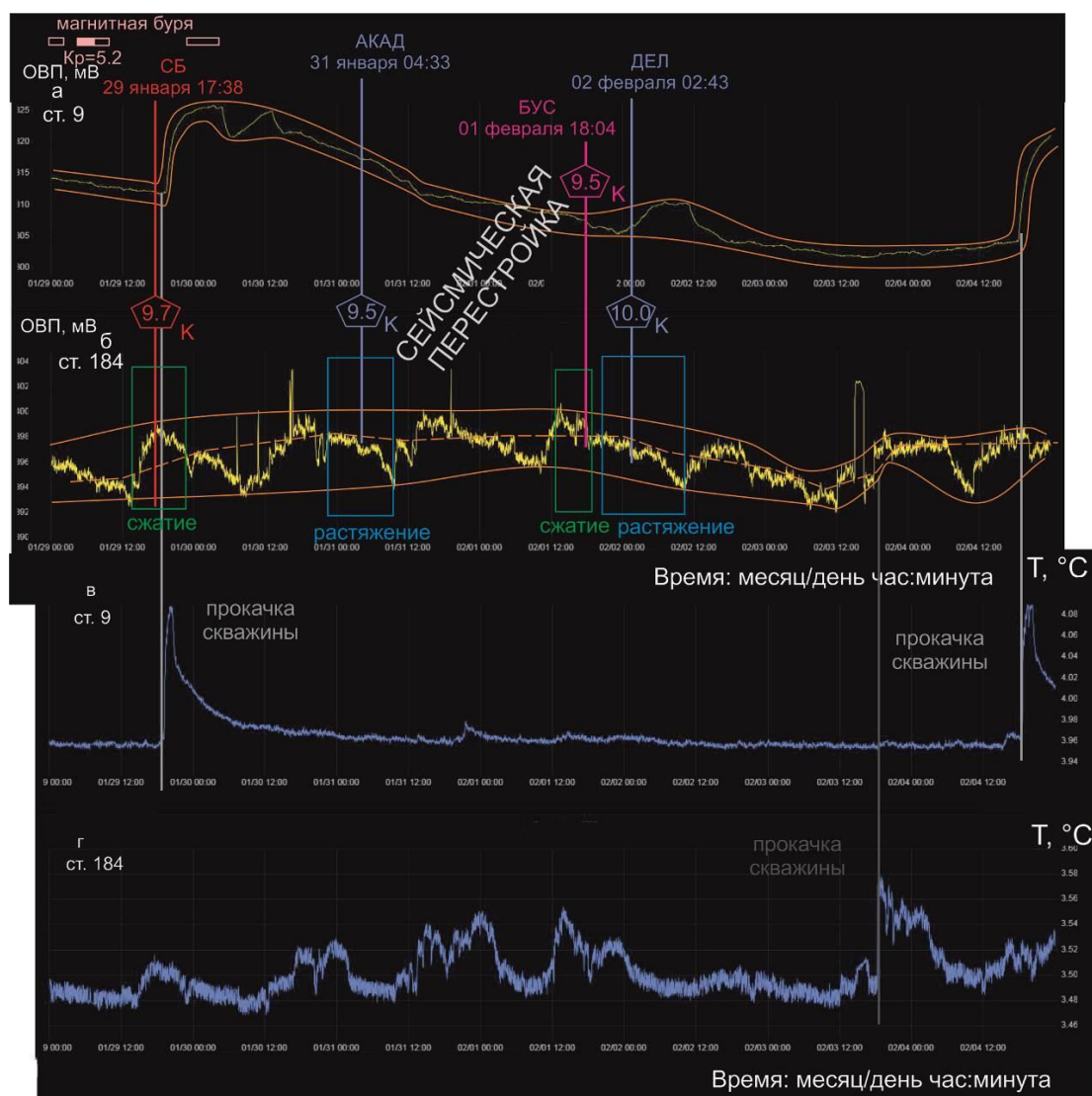


Рис. 8. Диаграммы вариаций ОВП 29 января – 04 февраля 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з). СУВО и БАГД – события Суво и района Багдарина в угловой группе землетрясений центра БРС (широтная ветвь).

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.

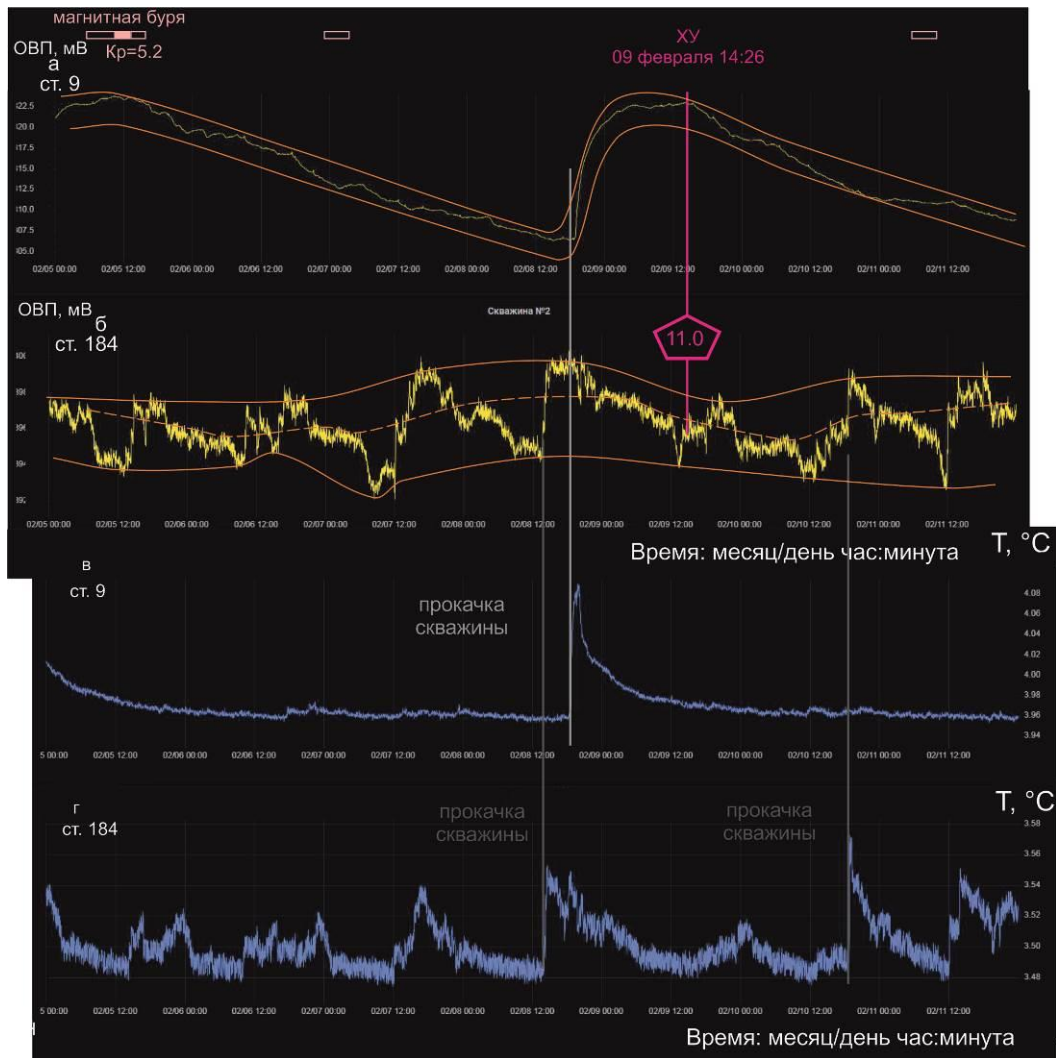


Рис. 9. Диаграммы вариаций ОВП 05–11 февраля 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з). ХУ – Хубсугул (кластер афтершоков).

Fig. 9. Diagrams of ORP variations on February 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). 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).

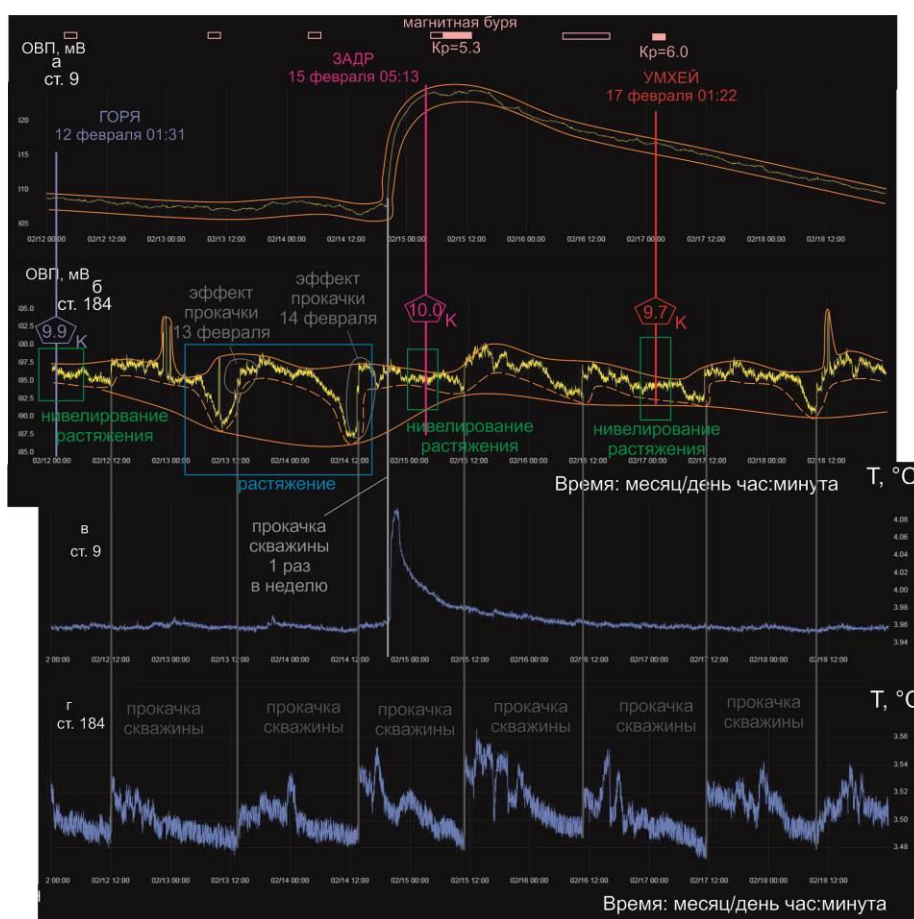


Рис. 10. Диаграммы вариаций ОВП 12–18 февраля 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, г). ЗАДР – Задархатское землетрясение.

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 (в, г). 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).

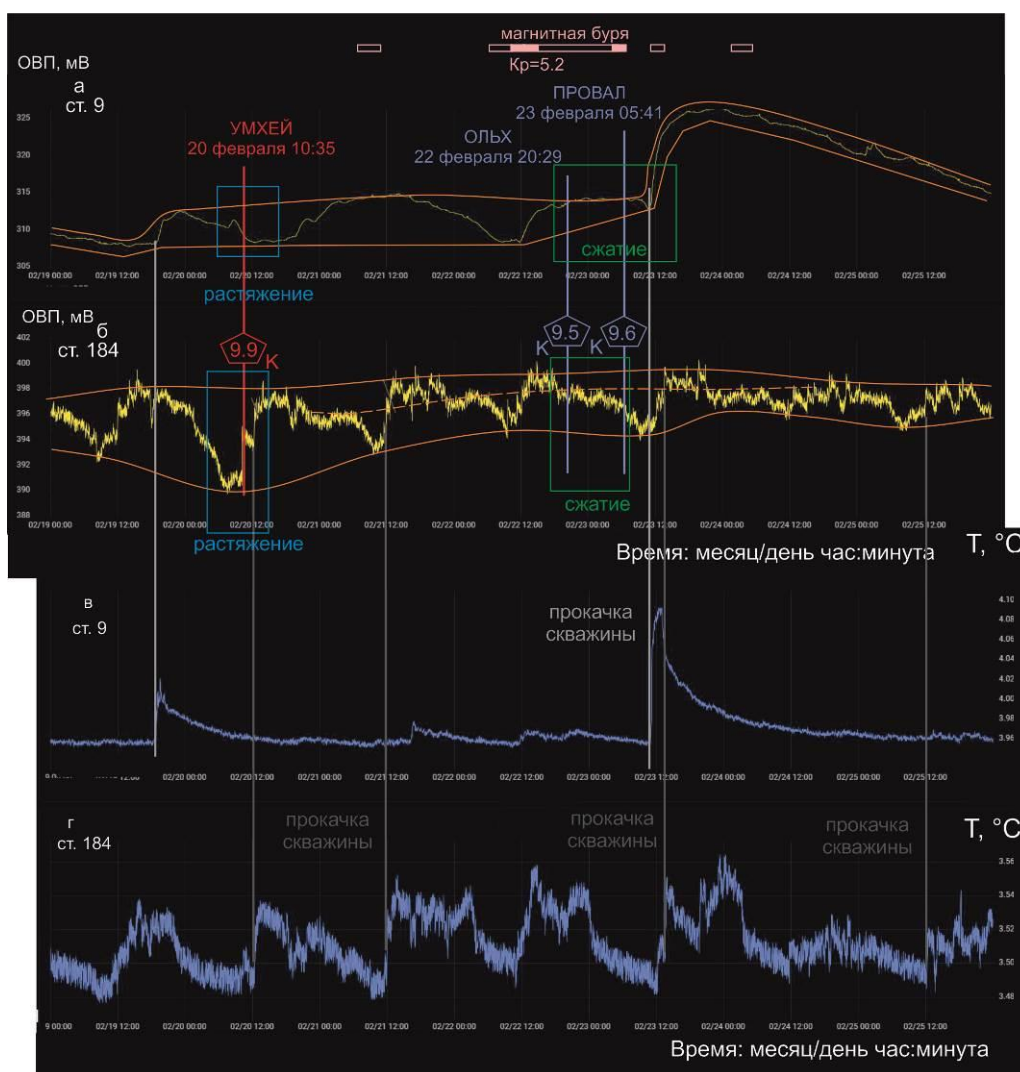


Рис. 11. Диаграммы вариаций ОВП 19–25 февраля 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з).

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 (v, z).

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.

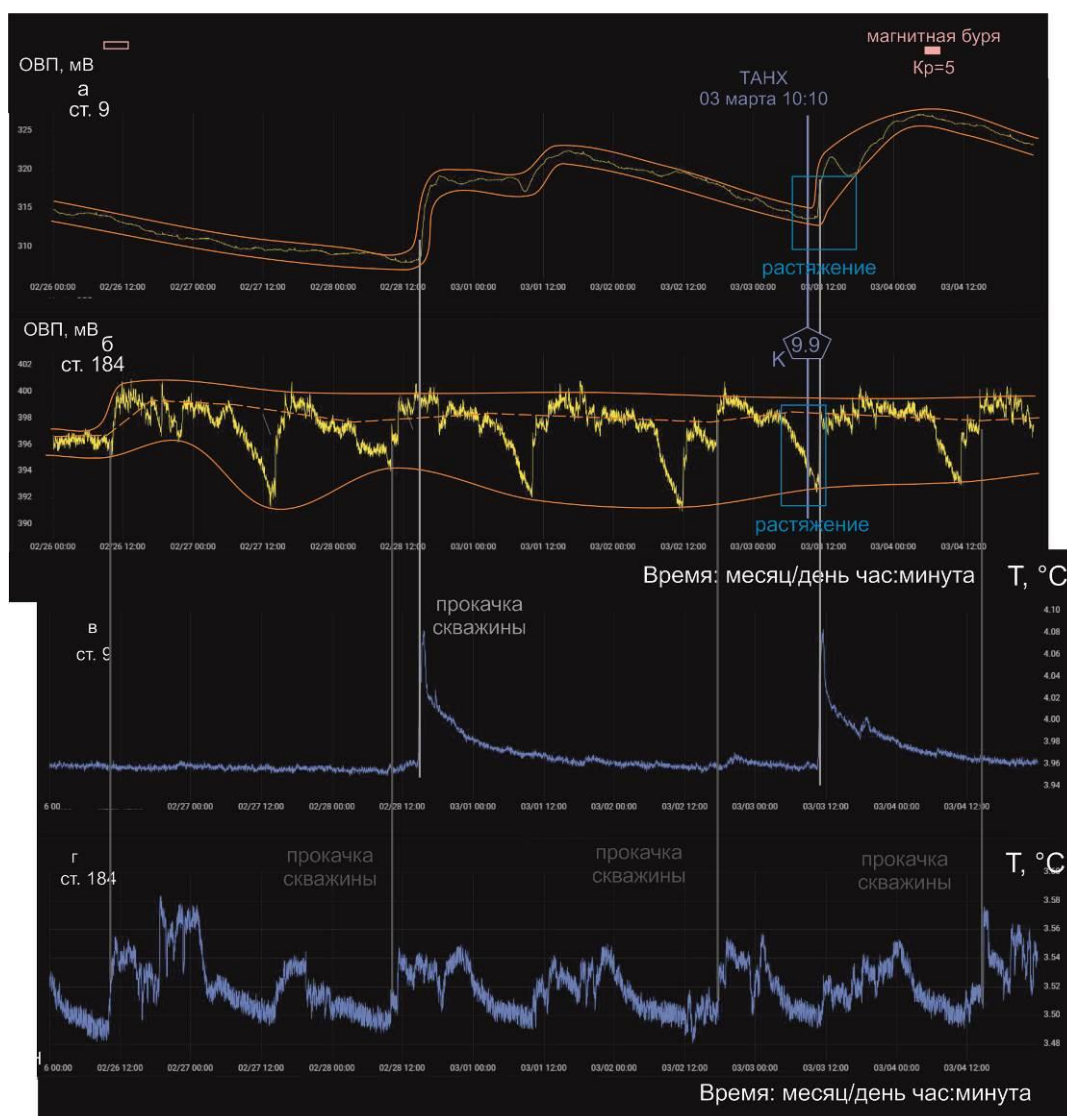


Рис. 12. Диаграммы вариаций ОВП 26 февраля – 04 марта 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з). ТАНХ – землетрясения района Танхой.

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).

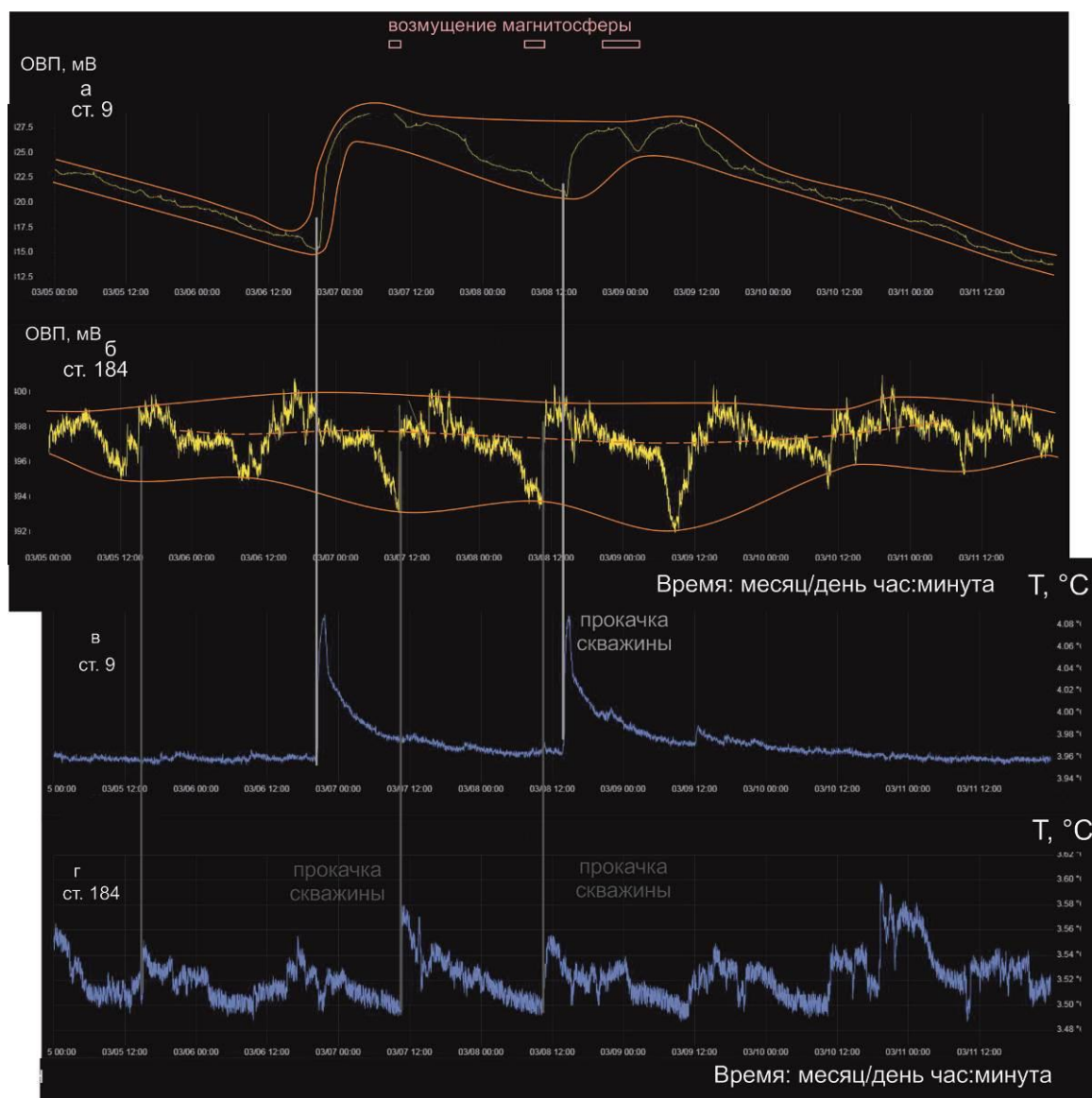


Рис. 13. Диаграммы вариаций ОВП 05–11 марта 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з).

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.

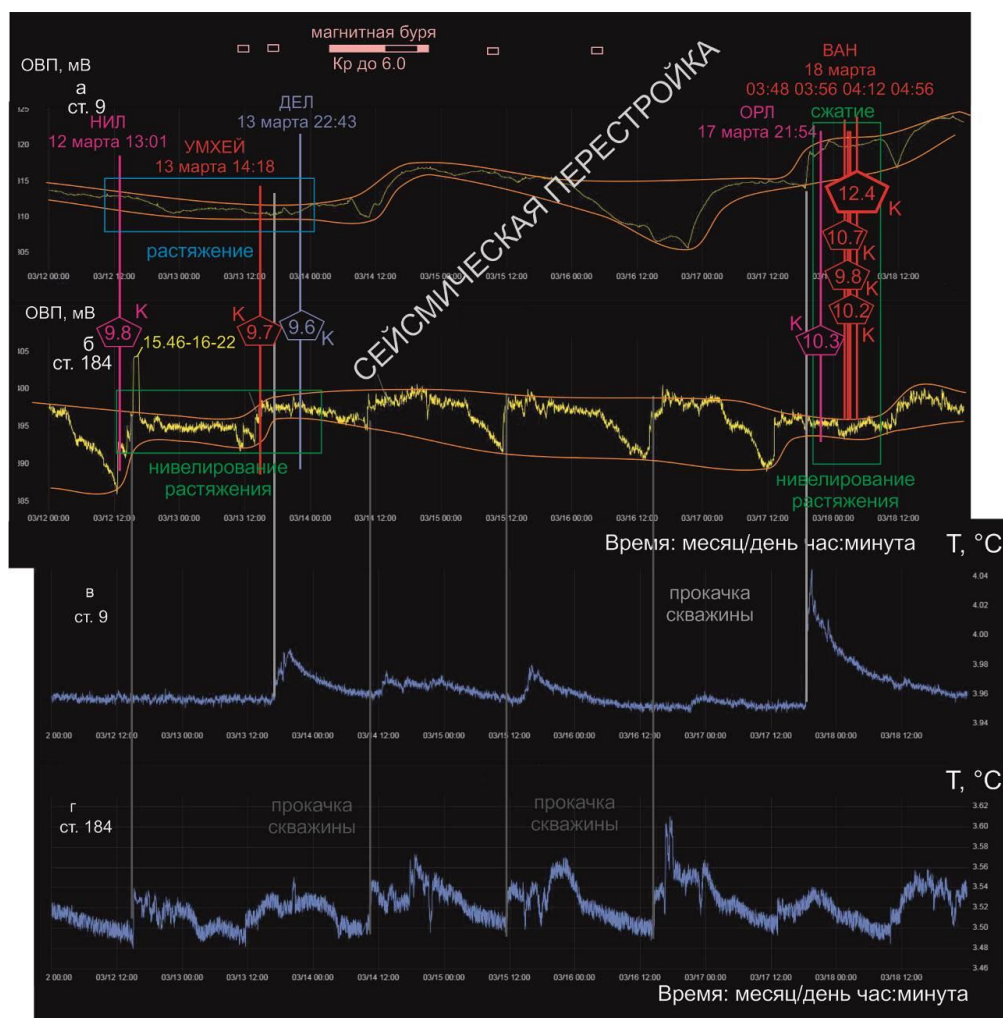


Рис. 14. Диаграммы вариаций ОВП 12–18 марта 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з). Землетрясения: НИЛ – Ниловское, УМХЕЙ – Умхейское, ДЕЛ – Дельтовое, ОРЛ – Орликское, ВАН – Верхнеангарское (4 события).

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, VAN – 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).

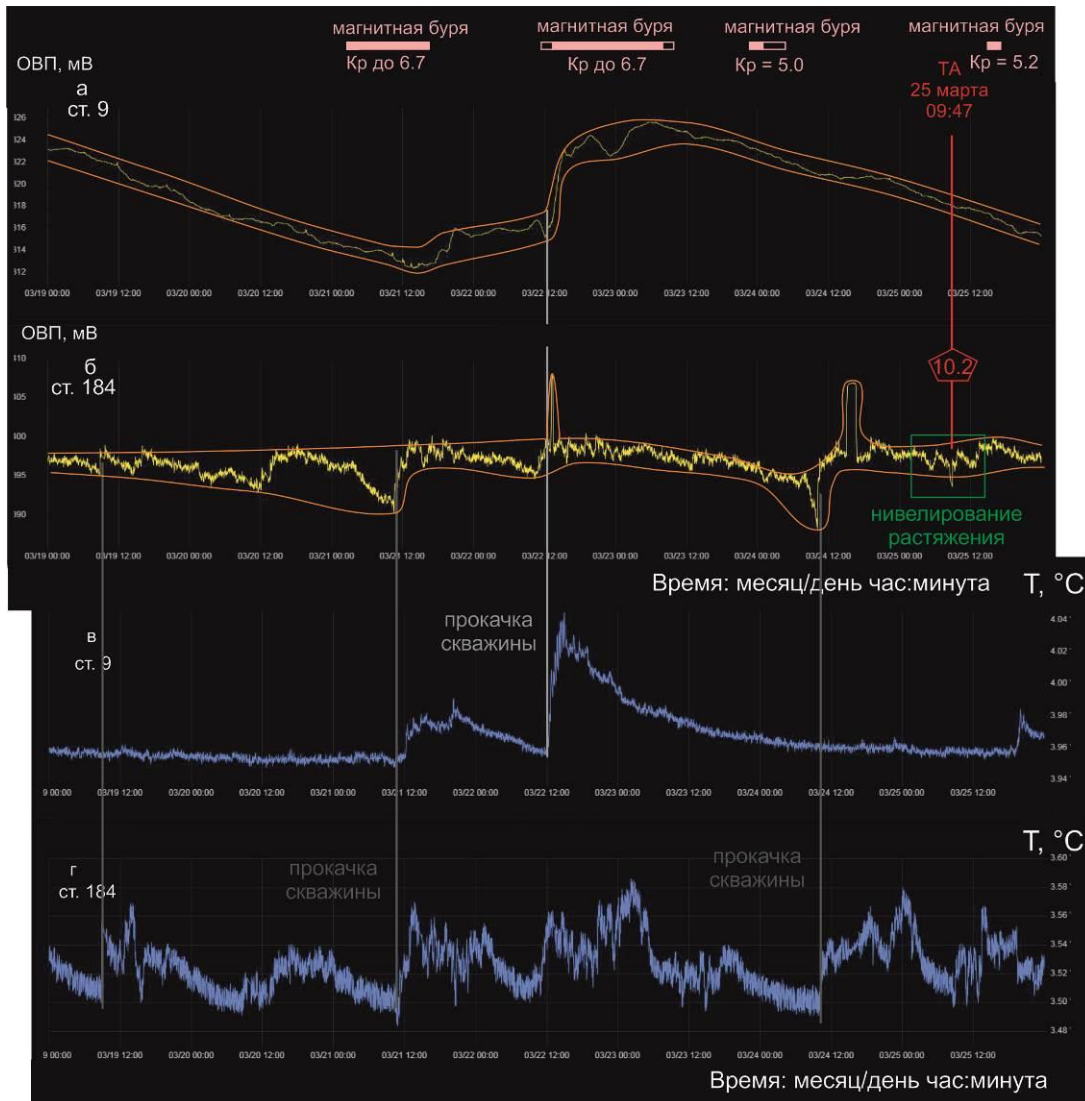


Рис. 15. Диаграммы вариаций ОВП 19–25 марта 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з).

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).

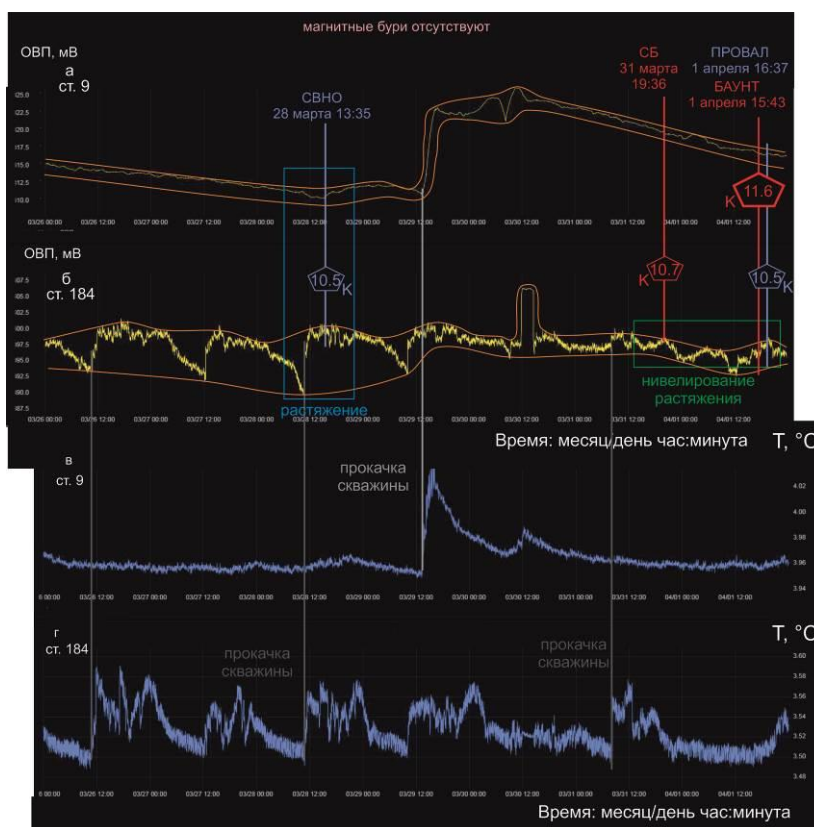


Рис. 16. Диаграммы вариаций ОВП 26 марта – 1 апреля 2026 г. в подземных водах ст. 9 (а) и ст. 184 (б) в сопоставлении с вариациями температуры в подземных водах этих же станций (в, з). СВНО – землетрясение с эпицентром северо-восточнее полуострова Святой Нос.

Fig. 16. Diagrams of ORP variations on March 26 – April 1 in groundwater of station 9 (a) and station 184 (b) in comparison with temperature variations in groundwater of the same stations (v, z). 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 сеймопрогностическую 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).

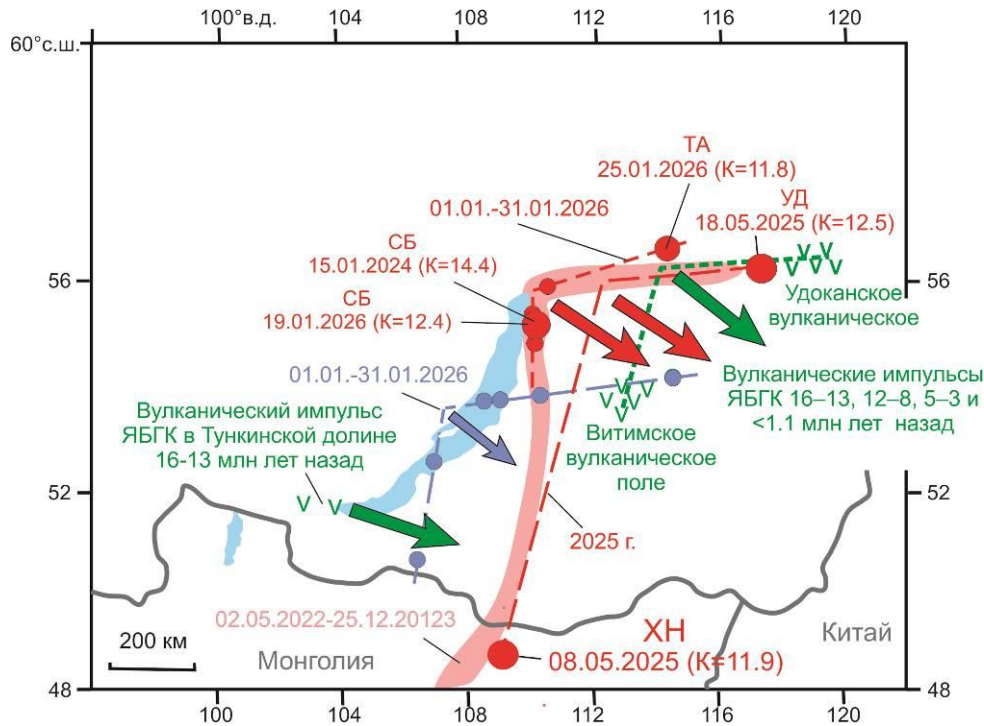


Рис. 17. Схема пространственных соотношений двойного углового распределения землетрясений ЯБГК на востоке и в центре БРС в январе 2026 г. с предшествующим угловым распределением землетрясений в 2022–2025 гг. и угловым проявлением позднекайнозойских вулканических импульсов ЯБГК. Для землетрясений используются 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 трансензии, 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).

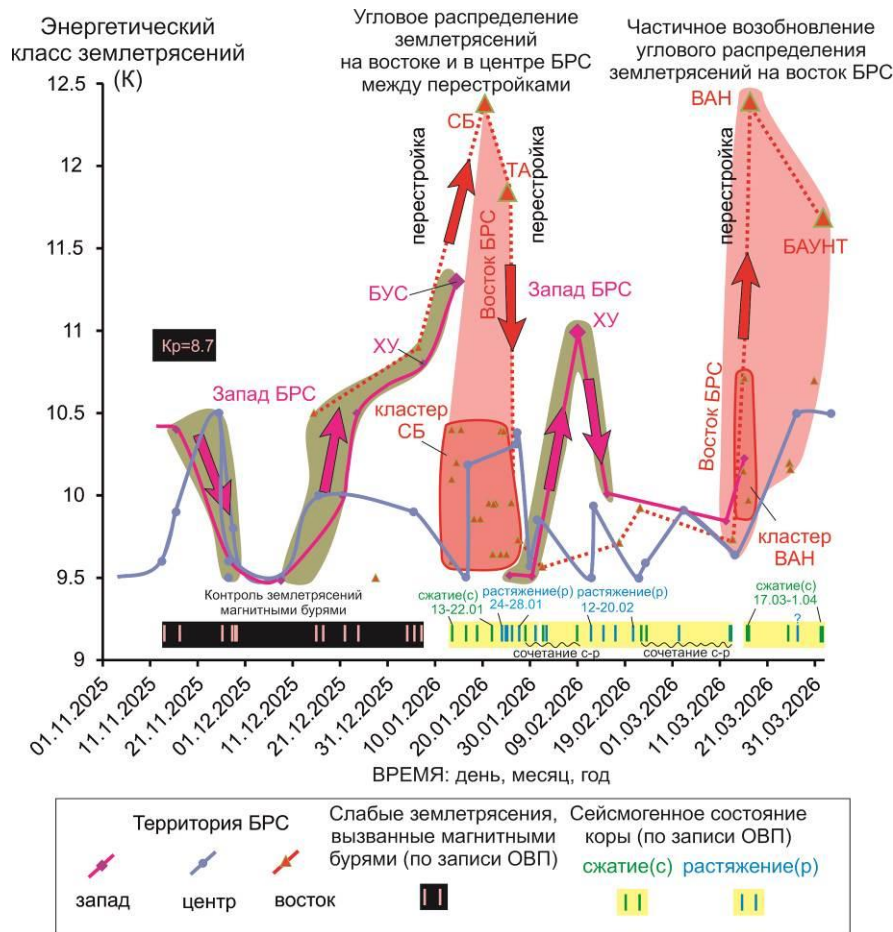


Рис. 18. График временного изменения энергетического класса (К) землетрясений БРС с 1 ноября 2025 г. до 31 марта 2026 г. на западе, в центре и на востоке БРС в сопоставлении с временным интервалом проявления в записях ОВП триггерной роли магнитных бурь, вызывающих землетрясения, и временными интервалами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

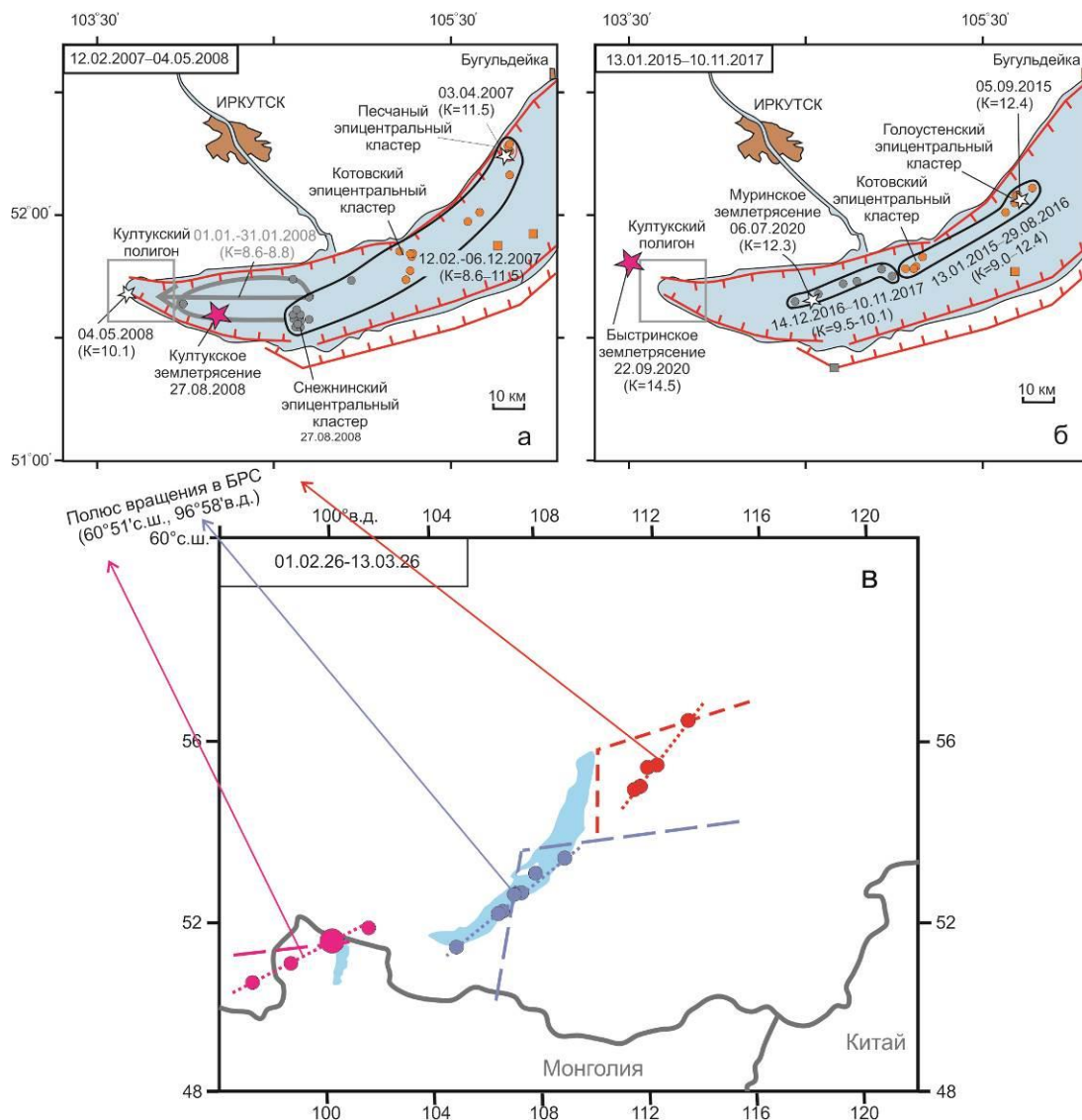


Рис. 19. Сопоставление пространственно-временного распределения эпицентров землетрясений, связанных с подготовкой сильного Култукского землетрясения 27 августа 2008 г. (а), будущего Быстринского землетрясения 22 сентября 2020 г., относительно апреля 2020 г. (б) (Rasskazov et al., 2020) и вероятного будущего 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). В начале 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., Виничина 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 вкострости простирающейся 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

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*

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*

Снопков Сергей Викторович,
*кандидат геолого-минералогических наук,
664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,
Иркутский государственный университет, гео-
логический факультет,
доцент,
664074, г. Иркутск, ул. Курчатова, 3,
Сибирская школа геонаук, Иркутский националь-
ный исследовательский технический универси-
тет,
ведущий научный сотрудник,
email: snopkov_serg@mail.ru.*

Snopkov Sergei Viktorovich,
*Candidate of Geological and Mineralogical Sci-
ences,
664025, Irkutsk, Lenin st., 3,
Irkutsk State University, Faculty of Geology,
Associate Professor,
664074, Irkutsk, Kurchatov st., 3,
Siberian School of Geosciences, Irkutsk National Re-
search Technical University,
Leading Researcher,
email: 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*

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*

Чебыкин Евгений Павлович,
*кандидат химических наук,
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,
Институт земной коры СО РАН,
ведущий специалист,
email: 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*

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*

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*