

Генерация ОВП-импульсов в подземных водах побережья Байкала в феврале-марте 2024 г.: 30-суточный мониторинг в режиме реального времени от зарождения до угасания

И.А. Асламов¹, С.В. Рассказов^{2,3}, С.В. Снопков^{3,4},
В.И. Архипенко¹, А.М. Ильясова², Е.П. Чебыкин^{1,2}

¹Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

²Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

³Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

⁴Иркутский национальный исследовательский технический университет, Сибирская школа геонаук, г. Иркутск, Россия

Аннотация. При мониторинге в режиме реального времени подземных вод берега Байкала в скважине пос. Култук с 07 февраля до 07 марта 2024 г. регистрируются отрицательные ОВП-импульсы. Различаются интервалы: I – 07–13 февраля (импульсы 1–26), IIa – 13–18 февраля (импульсы 27–43), IIb – 18–22 февраля (импульсы 43–54), IIIa – 22–26 февраля (импульсы 55–71), IIIb – 26 февраля – 4 марта (импульсы 71–80), VIa – 4–6 марта (импульсы 80–82) и 6–7 марта (импульсы 82–83). Демонстрируются признаки единого развития импульс-генерирующего процесса от его зарождения (интервал I) через последовательное усиление (интервалы IIa, IIb и IIIa) до вырождения (интервалы IIIb и IV). Предполагается, что 30-суточная активность импульс-генерирующего процесса регулируется квадратурными и сизигийными лунно-солнечными приливами.

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

Generation of ORP Pulses in Baikal Coastal Groundwater in February-March 2024: 30-day real-time Monitoring from Initiation to Extinction

I.A. Aslamov¹, S.V. Rasskazov^{2,3}, S.V. Snopkov^{2,4}, V.I. Archipenko¹,
A.M. Ilyasova², E.P. Chebykin^{1,2}

¹Limnological Institute, SB RAS, Irkutsk, Russia

²Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia

³Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

⁴Irkutsk National Research Technical University, Siberian School of Geosciences, Irkutsk, Russia

Abstract. Real-time monitoring of coastal groundwater of Lake Baikal in a well of the Kultuk village from February 7 to March 7, 2024 shows negative ORP pulses. The following intervals are distinguished: I – February 07–13 (pulses 1–26), IIa – February 13–18 (pulses 27–43), IIb – February 18–22 (pulses 43–54), IIIa – February 22–26 (pulses 55–71), IIIb – February 26 – March 4 (pulses 71–80), VIa – March 4–6 (pulses 80–82), and March 6–7 (pulses 82–83). These intervals demonstrate a distinct development of the pulse-generating process from its origin (interval I) through successive intensification (intervals IIa, IIb, and IIIa) to degeneration (intervals IIIb and IV). It is assumed that the 30-day activity of the pulse-generating process is regulated by neap and spring lunar-solar tides.

Keywords: groundwater, monitoring, oxidation-redox potential, Baikal.

Постановка вопроса

Мониторинг подземных вод проводится в режиме реального времени для выделения закономерностей природных процессов и построения их эволюционных моделей от зарождения до угасания. Наблюдения процесса имеют смысл во время его проявления. После окончания процесса мониторинг элементов его эволюции в режиме реального времени становится неактуальным, поскольку нет необходимости отслеживания краткосрочного повторения исчезнувших эффектов. Тем не менее, само явление должно быть охарактеризовано от его начала до окончания для того, чтобы иметь возможность судить о его эволюции и, в случае возрождения, использовать выявленные закономерности в воспроизведении эволюционной модели с элементами прогноза.

В начале декабря 2023 г. в скважинах мониторинговых станций 9 и 184 Култукского полигона были установлены зонды, измеряющие окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), рН и температуру в режиме реального времени. Условия установки зондов охарактеризованы в работе (Рассказов и др., 2023). В декабре на обеих станциях наблюдалось общее возрастание ОВП. В первой половине февраля 2024 г. на ст. 9 начали проявляться ре-

гулярные отрицательные импульсы ОВП. Зарождение этих импульсов в интервале от 07 до 14 февраля охарактеризовано в виде экспресс-анализа новообразованных эффектов (Рассказов и др., 2024). В настоящей работе рассматривается полная последовательность ОВП-импульсов подземных вод ст. 9 от начала до вырождения.

Общая характеристика ряда ОВП-импульсов

На графике рис. 1 приводится полная последовательность импульсов подземных вод ст. 9 с подразделением на 4 интервала. Учитываются основные геометрические характеристики каждого импульса: амплитуда ОВП (A) и паузы между импульсами ($t_{\text{пп}}$ и $t_{\text{мм}}$). При вступлении импульс-генерирующего процесса 07 февраля A составляет около 10 мВ, в середине февраля – меняется от 5 до 20 мВ, в конце февраля – от 2 до 50 мВ. В начале марта амплитуда импульсов сокращается. С изменением амплитуды меняются межимпульсные паузы. При вступлении импульс-генерирующего процесса 07 февраля паузы составляют около 6 ч. С течением времени размах пауз увеличивается; одни сокращаются по времени, другие становятся более продолжительными (рис. 2).

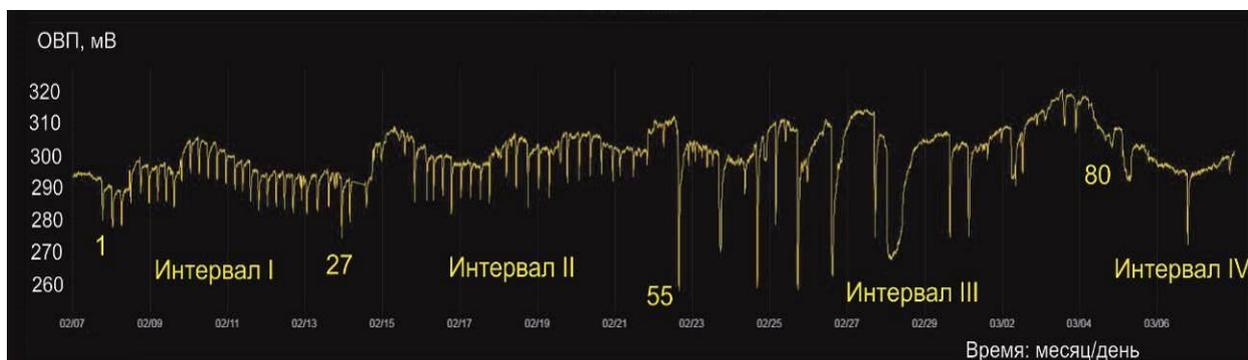


Рис. 1. Полный ряд ОВП-импульсов подземных вод ст. 9 в интервале 07 февраля – 07 марта 2024 г. включительно. Арабскими цифрами 1, 27, 55 и 80 показаны номера начальных импульсов интервалов.

Fig. 1. Complete series of ORP pulses of groundwater at station 9 in the interval February 7 – March 7, 2024. Arabic numerals 1, 27, 55, and 80 indicate the numbers of the initial pulses in the intervals.

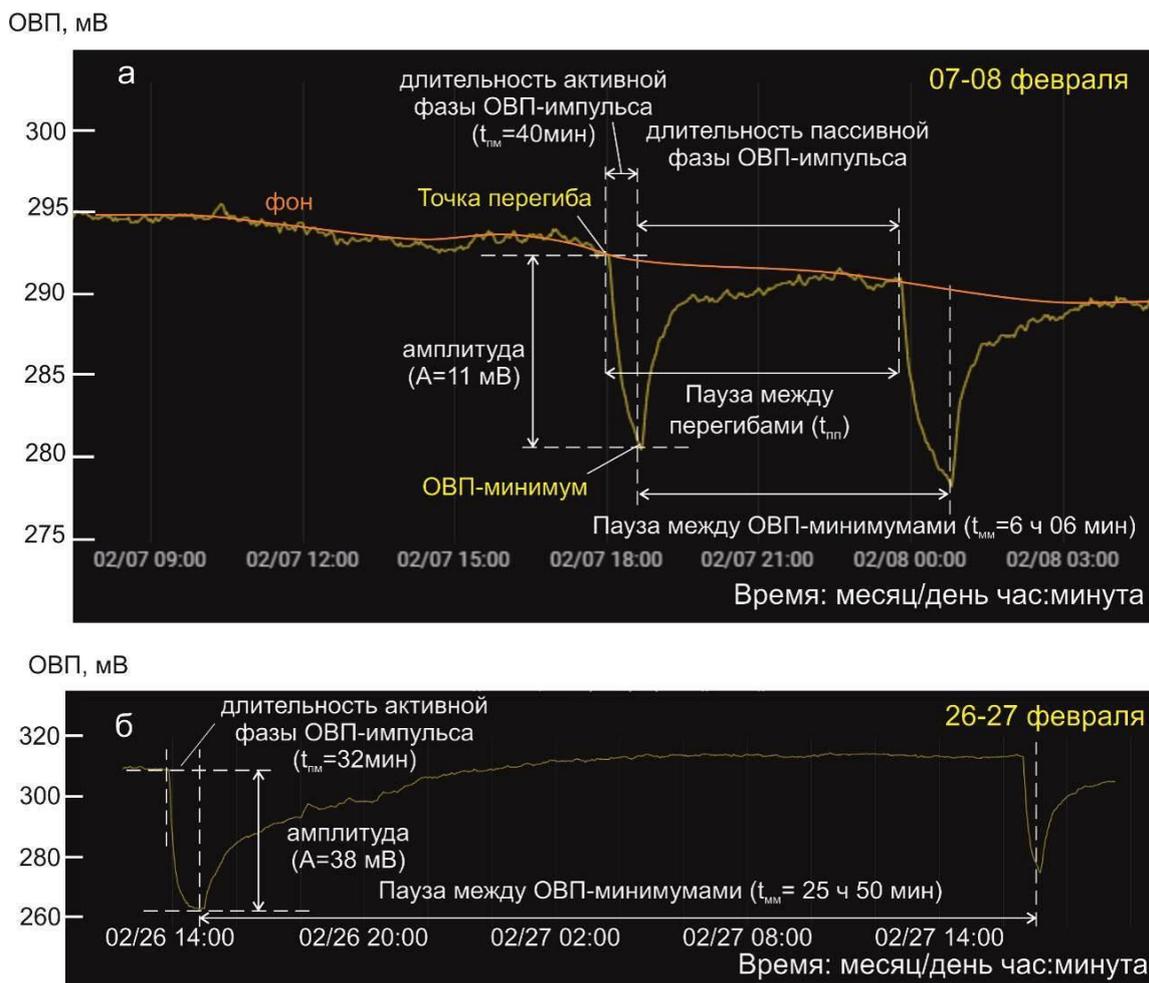


Рис. 2. Характеристические параметры повторяющихся минимумов ОВП. Рисунок на панели *a* выполнен на основе графика, полученного в режиме реального времени 07–08 февраля 2024 г. (в начале ряда ОВП-импульсов), на панели *б* – на основе графика 26–27 февраля 2024 г. (при переходе от интервала I к интервалу II).

Fig. 2. Characteristic parameters of repeated ORP minima. The figure in panel *a* is based on the graph obtained in real-time monitoring on 07–08 February 2024 (at the beginning of a series of pulses), in panel *b*, it is based on the graph on 26–27 February 2024 (during the transition from interval I to interval II).

Однотипные параметры A и $t_{\text{пп}}$ ($t_{\text{мм}}$) сохраняются в течение нескольких суток, а затем сменяются параметрами другого типа. По сходным временным вариациям параметра A различаются интервалы: I – 07–13 февраля (импульсы 1–26), IIa – 13–18 февраля (импульсы 27–43), IIб – 18–22 февраля (импульсы 43–54), IIIa – 22–26 февраля (импульсы 55–71), IIIб – 26 февраля – 4 марта (импульсы 71–80), IVa – 4–6 марта (импульсы 80–82) и 6–7 марта (импульсы 82–83) (рис. 3). В интервалах I, IIa и IIIa значения A слегка увеличиваются в нижнем пределе (в каждом из интервалов) при скачкообразном возрастании значений A в верхнем пределе от интервала I через интервал IIa к интервалу IIIa. Интервалы IVa и IVб в совокупности образуют максимум.

Переход от первого интервала ко второму обозначается соединительными импульсами, один из которых (импульс 26) имеет A в диапазоне интервала I, другой (импульс 27) – существенно превышает этот диапазон и относится к интервалу IIa. Подобные соединительные импульсы наблюдаются при переходе от интервала IIб к интервалу IIIa. Переходы от интервала IIa к интервалу IIб и от интервала IIIa к интервалу IIIб характеризуются общими импульсами, соответственно, 43 и 71. Наблюдается отчетливое различие вариаций ОВП начального интервала I и конечного интервала IV при взаимном сходстве вариаций ОВП промежуточных интервалов IIa–IIб и IIIa–IIIб.

В интервалах IIб и IIIб значения A последовательно снижаются. Эти тренды воспринимаются как тренды ослабления импульс-

генерирующего процесса. Он завершается с относительно малыми амплитудами ОВП в интервале IV.

Интервал I продолжается 5 суток 18 ч 00 мин. Интервалы IIa и IIб в совокупности имеют длительность 8 суток 06 ч 30 мин, а интервалы IIIa и IIIб – длительность 11 су-

ток 04 ч 06 мин. Возрастание амплитуды ОВП в промежуточных интервалах сопровождается возрастанием их длительности. Финальный максимум интервалов IVa и IVб имеет наименьшую продолжительность (3 суток 01 ч 16 мин).

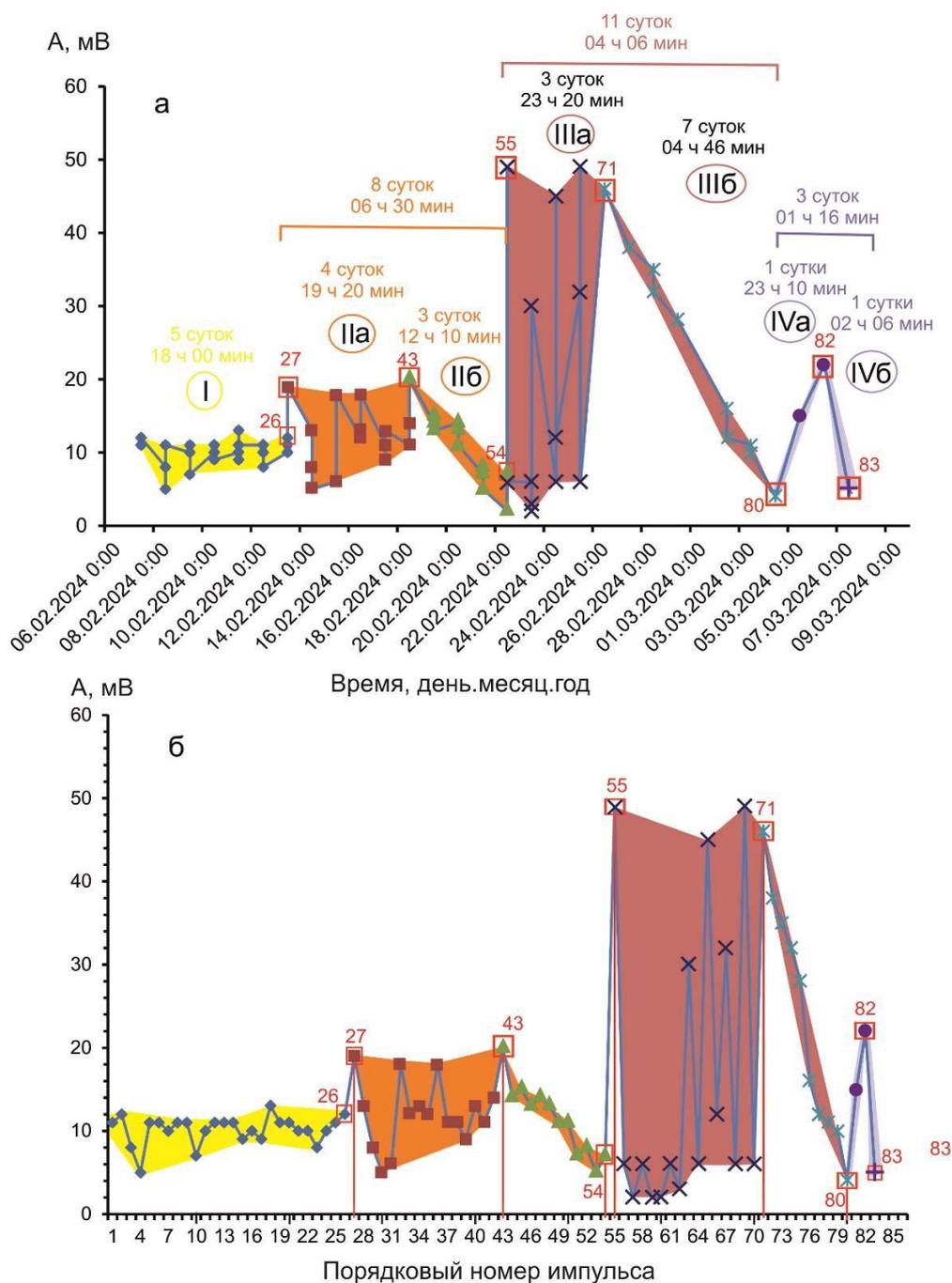


Рис. 3. Диаграммы вариаций амплитуды ОВП с 07 февраля до 09 марта 2024 г. на шкале времени (а) и по порядку номеров импульсов (б).

Fig. 3. Diagrams of variations in the ORP amplitude from February 7 to March 9, 2024 on a time scale (a) and in order of pulse numbers (b).

В интервале I длительность активной фазы ОВП-импульсов и длительность пауз между импульсами в целом воспроизводятся в узких диапазонах. Компактность фигуративных точек временных параметров импульсов на диаграмме рис. 4 свидетельствует об устойчивой связи длительности между импульсами с начальным 6-часовым вступлением импульс-генерирующего процесса, протекающего достаточно стабильно. В интервалах IIa и IIб фигуративные точки смещаются вправо (возрастает t_{mm}) и вниз (снижается t_{pm}). В интервале IIIa фигуративные точки дают всестороннее расширение соответствующего этому интервалу фигуративного поля

относительно фигуративного поля интервала IIa. В интервале IIIб фигуративные точки смещаются вверх (возрастает t_{pm}) и вправо (возрастает t_{mm}) относительно фигуративного поля интервала IIб. В интервале IV этот тренд смещения сменяется трендом относительного возрастания обоих временных параметров ОВП; t_{pm} и t_{mm} имеют наиболее высокие значения. Этот тренд обозначает угасание импульс-генерирующего процесса. Тенденция смещения в правую-верхнюю часть диаграммы от фигуративного поля IIIa к фигуративному полю IIIб обозначает начало угасания.

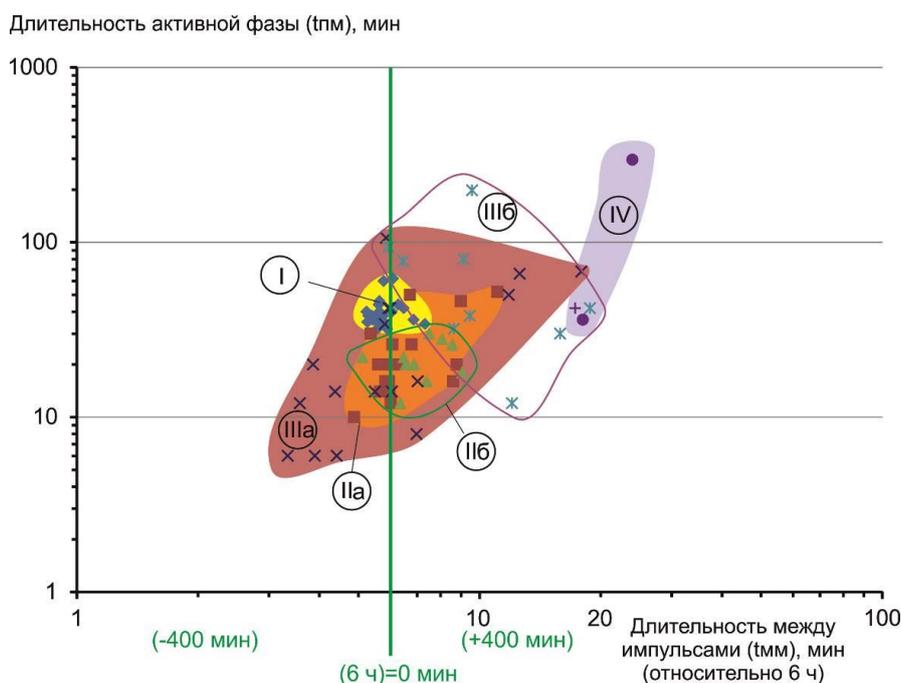


Рис. 4. Диаграмма изменения длительности активной фазы ОВП-импульсов относительно пауз между импульсами четырех интервалов ряда наблюдений 07 февраля – 07 марта 2024 г. Интервалы определяются на рис. 3.

Fig. 4. Diagram of changes in duration of active phases of ORP pulses relative to pauses between those of four intervals in a series of observations February 7 – March 7, 2024. The intervals are defined in Fig. 3.

Различие начального и финального интервалов ряда событий (07–13 февраля и 04–07 марта) ОВП-импульсов

В вариациях ОВП интервала I, предварительно рассмотренных в работе (Снопков и др., 2024), подчеркивается роль первых четырех импульсов с паузами между ними около 6 ч. Относительно этих пауз при про-

явлении последующих (промежуточных) импульсов интервала I паузы между ними уменьшаются и составляют менее 6 ч, а при проявлении более поздних (переходных к интервалу IIa) импульсов, наоборот, увеличиваются и составляют более 6 ч. В целом, интервал I, начинающий импульс-генерирующий процесс, насчитывает 26 импульсов, сконцентрированных в 5 сутках и 18 ч. В этом временном интервале просле-

живаются закономерные изменения амплитуды импульсов; значения A событий 1–4 сокращаются от 11–12 мВ до 5 мВ, событий 5–22 в основном составляет 10–11 мВ, событий 24–26 не превышает 11 мВ, а к событию 27 интервала IIa поднимается до 19 мВ (рис. 5а).

Интервал IV, завершающий импульс-генерирующий процесс, насчитывает гораз-

до меньше событий (4 импульса), произошедших за меньший временной интервал (3 суток 1 ч 16 мин). В отличие от относительно устойчивой амплитуды ОВП интервала I, амплитуда ОВП интервала IV неустойчива. Она возрастает от события 80 к событию 82 и затем сокращается на событии 83 с выходом на возмущения, отличающиеся от типичных ОВП-минимумов (рис. 5б).

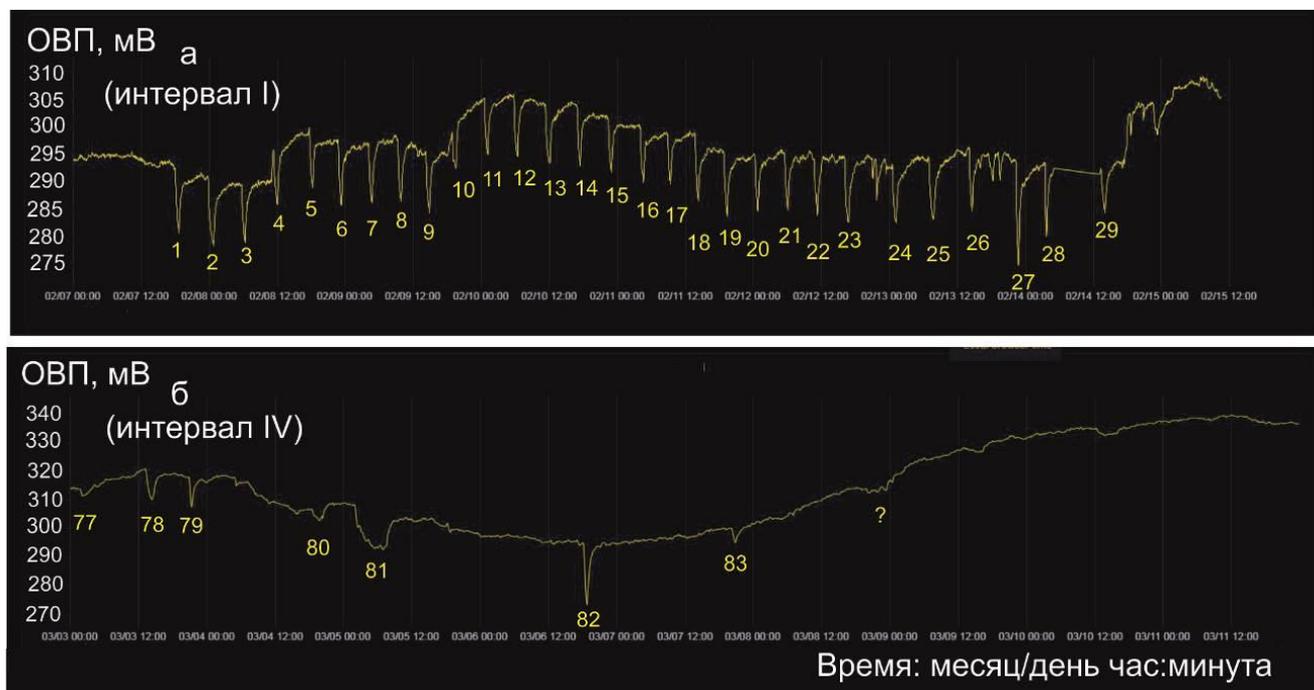


Рис. 5. Различия графиков подземных вод ст. 9 начального интервала I ОВП-импульсов от 1 до 26 (от 07 до 13 февраля 2024 г.) с переходом к импульсам 27–29 интервала II (а) и финального интервала IV импульсов 80–83 (б). На панели а регулярным отрицательным ОВП-импульсам в интервале 07–14 февраля 2024 г. присвоены номера от 1 до 29, на панели б – от 77 до 83. На панели а между импульсами 23–24 и 26–27 наблюдаются дополнительные малые минимумы (Рассказов и др., 2024). Для наглядности сопоставления начала и финала импульсного ряда на панелях а и б используются временные шкалы одного размера.

Fig. 5. Difference in the dynamics of groundwater ORP at station 9 of the initial interval I, pulses from 1 to 26 (from February 7 to 13, 2024) with the transition to pulses 27–29 of interval II (a) and the final interval IV, pulses 80–83 (b). In panel a, regular negative ORP pulses in the interval February 7–14, 2024 are assigned numbers from 1 to 29, in panel b – from 77 to 83. In panel a, between pulses 23–24 and 26–27, additional small minima are observed (Rasskazov et al., 2024). For visual comparison of the beginning and end of the impulse series in panels a and b, the same time scales are used.

Кульминация ОВП-импульсов в промежуточном интервале IIIa (22–26 февраля)

В конце интервала IIб, ночью 21 февраля 2024 г., наблюдается малоамплитудный ОВП-импульс 51 (7 мВ), который входит в активную фазу (точка перегиба графика) от 301 мВ в 02:48, завершает активную фазу (острый минимум) при значении 294 мВ в 03:04). Затем до 6:12 22 февраля устанавли-

вается режим малоамплитудных (5–8 мВ) ОВП-импульсов, разделенных продолжительными паузами (8 ч 20 мин – 10 ч 20 мин или 6 ч +140+300 мин). Последний импульс интервала IIб (импульс 54) наблюдается 22 февраля от 05:44 (310 мВ) до 6:12 (303 мВ) с последующей паузой между импульсами ($t_{\text{мм}}$) 9 ч 28 мин (рис. 6а,б).

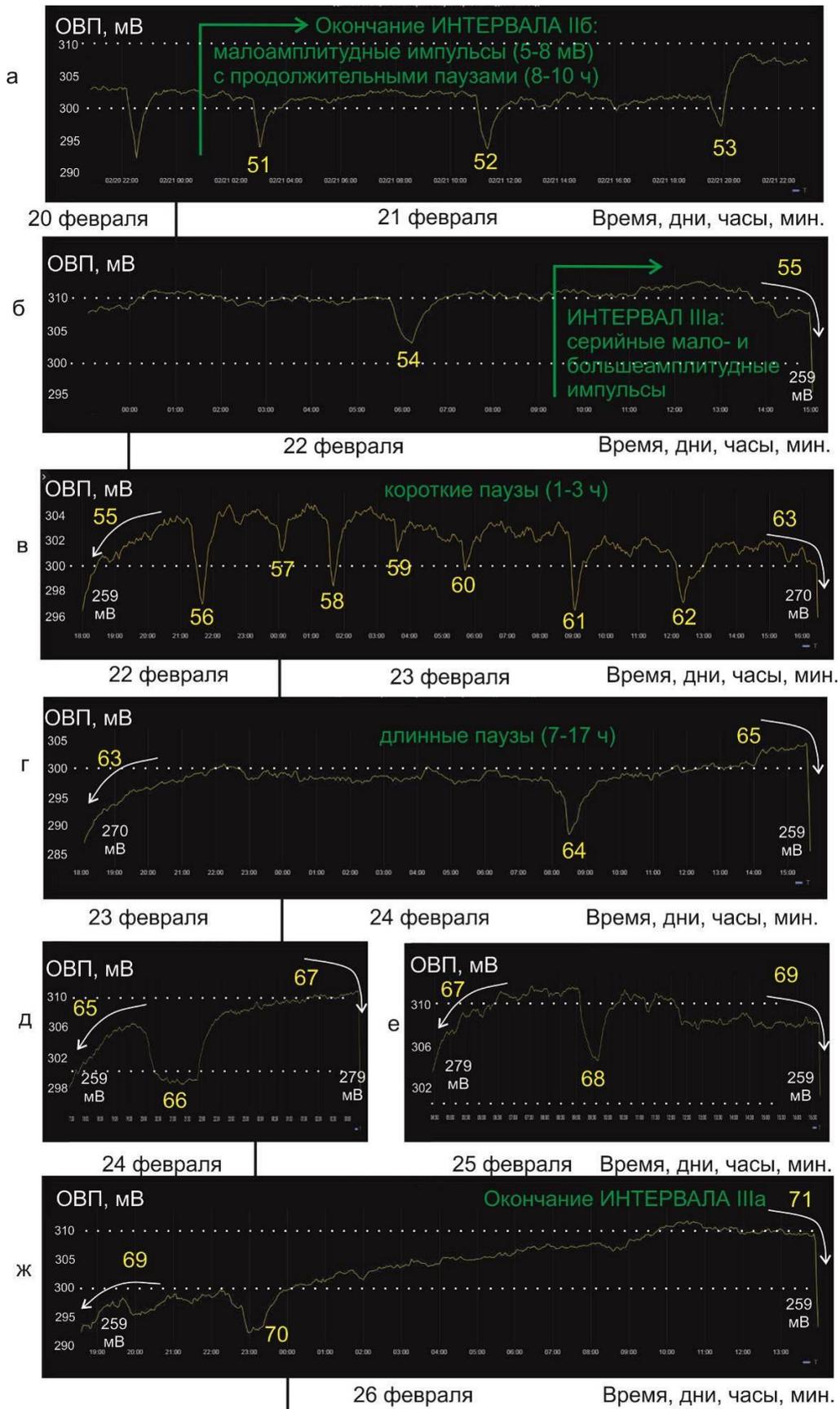


Рис. 6. Приблизительно посуточные графики ОВП окончания временного интервала IIб и полного кульминационного интервала IIIа: а,б – малоамплитудные импульсы 51–54 перед большеамплитудным импульсом 55, начинающим интервал IIIа 22 февраля; в – между большеампли-

тудными импульсами 55 и 63; z – между большеамплитудными импульсами 63 и 65; d – между большеамплитудными импульсами 65 и 67; e – между большеамплитудными импульсами 67 и 69 и $ж$ – между большеамплитудными импульсами 69 и 71. Панель a охватывает временной интервал от 23:04 21 февраля до 15:04 22 февраля, панель b – от 18:00 22 февраля до 16:30 23 февраля, панель $в$ – от 18:00 23 февраля до 15:40 24 февраля. Белые стрелки обозначают глубокие минимумы. Горизонтальным пунктиром выделены уровни ОВП 300 и 310 мВ.

Fig. 6. Approximately daily ORP graphs of the end of time interval IIb and the full culmination of interval IIIa: a , b – low-amplitude pulses 51–54 before high-amplitude pulse 55, starting interval IIIa on February 22; $в$ – between large-amplitude pulses 55 and 63; z – between high-amplitude pulses 63 and 65; d – between high-amplitude pulses 65 and 67; e – between large-amplitude pulses 67 and 69 and $ж$ – between large-amplitude pulses 69 and 71. Panel a covers the time interval from 23:04 on February 21 to 15:04 on February 22, panel b – from 18:00 on February 22 to 16:30 on 23 February, panel $в$ – from 18:00 on February 23 to 15:40 on February 24. White arrows indicate deep minima. The horizontal dotted line represents ORP levels of 300 and 310 mV.

На панели $bв$, во второй половине 22 февраля, регистрируется весьма глубокий минимум (импульс 55: 259 мВ, 15:40), стартовый от точки перегиба (308 мВ, 14:58). После минимального значения наступает фаза быстрой релаксации, переходящая в медленную релаксацию с адаптацией к фону. Пауза до следующего минимума 56 (297 мВ, 21:40) составляет ровно 6 ч. С этого минимума начинается серия семи малоамплитудных (2–3 и 6 мВ) событий с короткими паузами между ними (от 1 ч 34 мин до 3 ч 22 мин). Серия продолжается 14 ч 42 мин, с 21:40 22 февраля (импульс 56: 297 мВ, 21:40) до 09:04 23 февраля (импульс 62: 297 мВ, 12:22). В конце этой серии пауза увеличивается до 5 ч 10 мин с проявлением глубокого минимума (импульс 63: 270 мВ, 17:32), стартового от точки перегиба (300 мВ, 16:26). Общая продолжительность паузы между глубокими минимумами 55 и 63, заполненной малыми ОВП-эффектами, составляет 25 ч 52 мин.

На панели $bг$ после глубокого минимума 63 следует весьма продолжительный перерыв (16 ч. 58 мин.) до малого минимума (импульс 64: 289 мВ, 8:30). Через 7 ч 38 мин от него регистрируется глубокий минимум (импульс 65: 259 мВ, 16:08). Таким образом, малый импульс 64 оказывается смещенным от предшествующего импульса 63 к последующему импульсу 65.

На панелях $бд$ и $бе$ в течение суток отображаются сближенные между собой глубокие минимумы импульсов 65–67 (панель d) и 67–69 (панель e). На панели $бж$ глубокие минимумы импульсов 69 и 71 опять проявляются приблизительно через сутки. В отличие от сочетания импульсов

63–65 со смещением малого импульса 64 к последующему импульсу 65, в сочетании импульсов 69–71 малый импульс 70 находится ближе к предшествующему импульсу 69.

Обсуждение

ОВП-импульсы, проявившиеся в подземных водах ст. 9 с 07 февраля до 07 марта 2024 г., отражают возникновение процесса, наложенного на общий ход изменений ОВП подземных вод этой станции. Импульсы начального интервала резко нарушают ровный фон графика и характеризуют начальный, относительно стабильный импульс-генерирующий режим с квазипериодичностью 6 ч. Промежуточные интервалы IIa, IIb, IIIa и IIIб характеризуют развитие импульс-генерирующего процесса. В интервалы IIa и IIIa процесс усиливается, в интервалы IIb и IIIб – ослабевает. После ослабления, произошедшего в интервале IIIa, следуют финальные события в интервале IV, обозначающие угасание импульс-генерирующего процесса.

Обращает на себя внимание соответствие общей продолжительности существования ОВП-импульсов полному месячному циклу лунных (сизигийных и квадратурных) приливов. Сизигийный прилив возникает с периодичностью около 2 недель в дни, когда Земля, Луна и Солнце лежат примерно на одной прямой, а квадратурный прилив – в дни, когда направления на Луну и Солнце образуют прямой угол. При сизигийном приливе влияние Солнца усиливает влияние Луны на Землю, при квадратурном приливе – ослабляет. В результате высота сизигийного прилива примерно втрое больше высоты

квадратурного прилива. На оз. Байкал сизигийный прилив достигает высоты 3.2 см, квадратурный – 2 см.

На широте Среднего Байкала (п-ов Святой Нос) находится залив Байкал (север о-ва Сахалин) акватории Мирового океана. 4 марта 2024 г. уровень лунных приливов здесь был минимальным в 4:02

(<https://tides4fishing.com/ru/sakhalin-oblast/baikal-bay>). По наблюдениям в заливе в это время существовал квадратурный режим. В этих условиях импульс-генерирующий процесс подземных вод берега оз. Байкал не только зарождался, но и угасал (рис. 7).

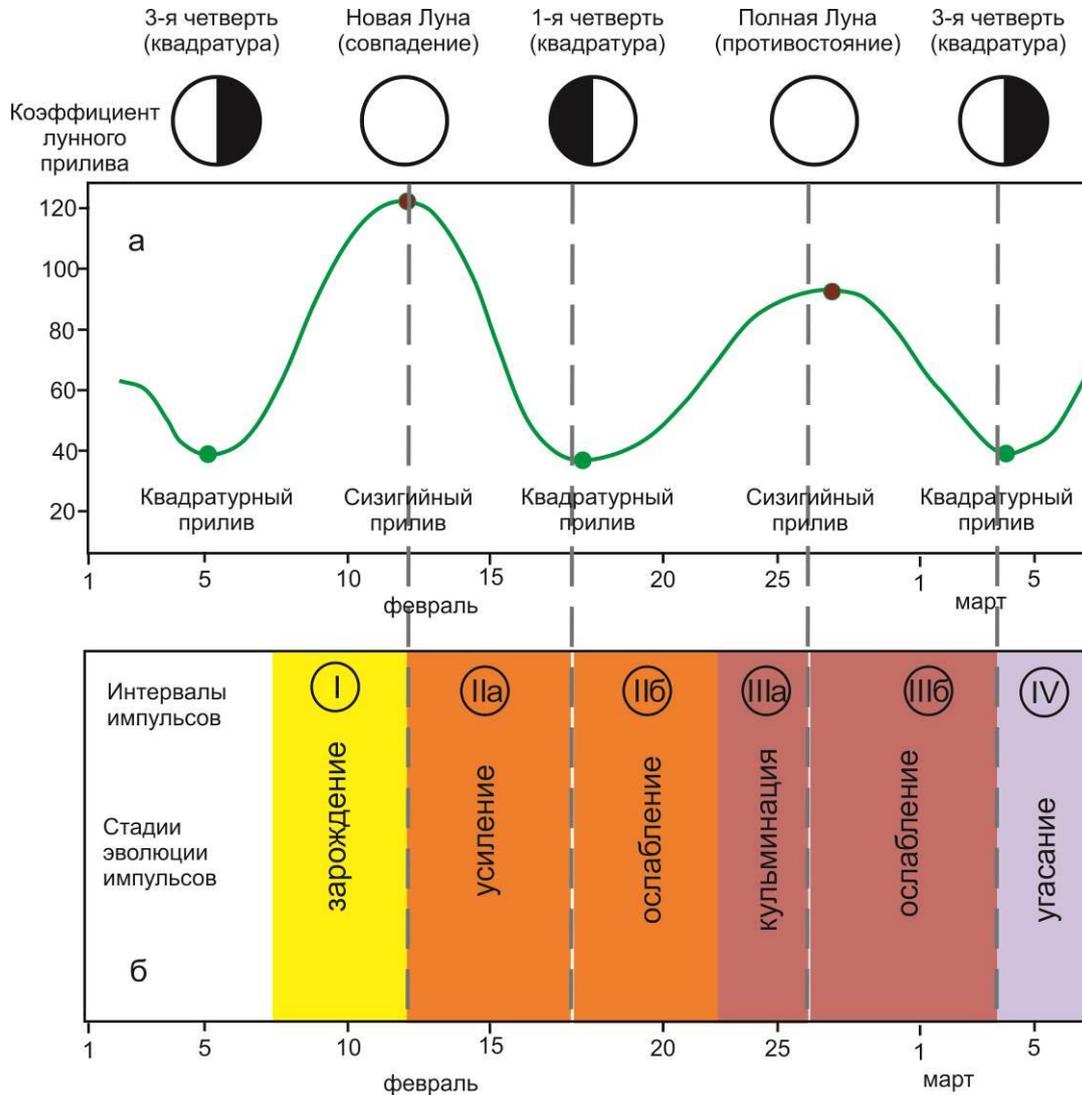


Рис. 7. Схема соотношения стадий эволюции интервалов ОВП-импульсов подземных вод берега Байкала (а) с квадратурными и сизигийными лунно-солнечными приливами (б) (объяснение в тексте).

Fig. 7. Scheme of the relationship between the evolution stages of intervals of ORP pulses of groundwater from the shore of Lake Baikal (a) with neap and spring lunar-solar tides (b) (explanation in the text).

Влиянием суточных лунных приливов объясняется 6-часовая квазипериодичность вступления импульс-генерирующего процесса 07 февраля. Приливы играют роль спускового механизма, который исправно работает в первом интервале ОВП-

импульсов. При усилении импульс-генерирующего процесса непосредственный контроль импульсов суточными лунными приливами сменяется их более сложным временным распределением. Однако сохраняется общий контроль смены характера

импульсов сизигийными и квадратурными приливами. ОВП-импульсы начинаются в условиях перехода от квадратурного прилива к сизигийному и при достижении последнего сменяется интервалом Па, во время которого импульсы усиливаются. Интервал Па соответствует условиям перехода от сизигийного прилива к квадратурному и при его достижении сменяется интервалом Пб. В условиях перехода от квадратурного прилива к сизигийному импульсы сначала ослабевают (интервал Пб), а затем усиливаются до кульминации (интервал Ша). Кульминация ОВП-импульсов предшествует сизигийному приливу и при его переходе к квадратурному сменяется ослаблением импульс-генерирующего процесса. При достижении квадратурного прилива наблюдаются заключительные ОВП-эффекты.

В более широком контексте в Байкальской впадине предполагалось влияние лунно-солнечных приливов на землетрясения. Это предположение имело характер дискуссии (Ламакин, 1966). В последние несколько десятилетий вопрос о влиянии лунно-солнечных приливов на сейсмичность был в фокусе многочисленных мониторинговых и экспериментальных исследований, в том числе связанных с оценками уровня сейсмичности и с изучением временных вариаций электропроводности земной коры (Гордеев и др., 1995; Салтыков, 1995; Жамалетдинов и др., 2000; Боголюбов и др., 2004; Vargal, Grafarend, 2017; Zhamaletdinov et al., 2018; Senapati et al., 2023).

Вопрос о происхождении ОВП-импульсов в подземных водах берега Байкала и непосредственном влиянии на них импульс-генерирующих факторов в настоящее время не имеет однозначного объяснения. Импульсы могут быть производными пьезоэлектрических эффектов, сопровождающих деформации ледового покрова, или могут отражать образование микробиальных пленок на поверхности чувствительных элементов датчика (вследствие способности микроорганизмов изменять окислительно-восстановительные условия среды в ходе своей жизнедеятельности). На импульсы могут влиять и другие факторы, определение

которых требует дополнительных исследований.

С одной стороны, если проводить аналогию между глубокими ОВП-минимумами и сильными деформационными событиями деформации ледового покрова, то получаются посуточные интервалы (25 ч 52 мин и 24 ч 36 мин). С другой стороны, во время кульминационного интервала Шб между глубокими минимумами 55–63 в течение суток происходит до семи малых импульсов (см. рис. 6в). Паузы между ними (в основном от 1 ч 34 мин до 3 ч 22 мин) сопоставляются с периодами, характеризовавшими деформационный процесс ледового покрова 3 и 5 марта 2013 г., зарегистрированными с преобладающими периодами в интервале от 2460 сек (41 мин) до 9530 сек (или 2 ч 38 мин 50 с). Эти колебания характеризовались как показательные для вариаций тектонических напряжений льда между главными ледовыми ударами (Борняков и др., 2016).

Заключение

При мониторинге в режиме реального времени подземных вод берега Байкала в скважине пос. Култук с 07 февраля до 07 марта 2024 г. зарегистрированы отрицательные ОВП-импульсы в интервалах: I – 07–13 февраля (импульсы 1–26), Па – 13–18 февраля (импульсы 27–43), Пб – 18–22 февраля (импульсы 43–54), Ша – 22–26 февраля (импульсы 55–71), Шб – 26 февраля – 4 марта (импульсы 71–80), VIa – 4–6 марта (импульсы 80–82) и 6–7 марта (импульсы 82–83). Импульсы характеризовали единое развитие процесса от его зарождения (интервал I) с последовательным усилением (интервалы Па, Пб и Ша) до вырождения (интервалы Шб и IV). Предполагается, что 30-суточная активность импульс-генерирующего процесса от его зарождения до угасания регулировалась квадратурными и сизигийными приливами, обусловленными суперпозиционированием Земли относительно Луны и Солнца. Происхождение ОВП-импульсов может быть связано как с пьезоэлектрическими эффектами, возникающими при деформациях ледового покрова оз. Байкал, так и с образованием микробиальных пленок на поверхности чувствительных элементов датчика.

Выяснение природы обнаруженных ОВП эффектов требует проведения дополнительных междисциплинарных исследований.

Благодарности

Мониторинг ОВП подземных вод в режиме реального времени проводится в рамках реализации крупного научного проекта «Фундаментальные исследования Байкальской природной территории на основе системы взаимосвязанных базовых методов, моделей, нейронных сетей и цифровой платформы экологического мониторинга окружающей среды».

Литература

Боголюбов Б.Н., Лобанов В.Н., Назаров В.Е., Рылов В.И., Стромков А.А., Таланов В.И. Амплитудно-фазовая модуляция сейсмоакустической волны под действием лунно-солнечного прилива // Геология и геофизика. 2004. Т. 45, № 8. С. 1045–1049.

Борняков С.А., Мирошниченко А.И., Салко Д.В. Диагностика предсейсмогенного состояния структурно-неоднородных сред по данным деформационного мониторинга // Докл. Академии наук. 2016. Т. 468, № 1. С. 84–87.

Гордеев Е. И., Салтыков В.А., Сеницын В. И., Чебров В. Н. К вопросу о связи высокочастотного сейсмического шума с лунно-солнечными приливами // Доклады Академии наук. 1995. Т. 340. № 3. С. 386–388.

Жамалетдинов А.А., Митрофанов Ф.П., Токарев А.Д., Шевцов А.Н. Влияние лунно-солнечных приливных деформаций на электропроводность и флюидный режим земной коры // Докл. РАН, 2000. Т. 371, № 2. С. 235–239.

Ламакин В.В. Байкальские землетрясения и лунно-солнечные приливы // Природа. 1966. № 9. С. 23–34.

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, рН и температуры подземных вод Култукского резервуара в режиме реального времени (Байкальская рифтовая система) // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 4. С. 161–181. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2023.4.161>

Рассказов С.В., Снопков 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.

Салтыков В.А. Особенности связи высокочастотного сейсмического шума и лунно-солнечных приливов. // Докл. РАН. 1995. Т. 341, № 3. С. 406–407.

Senapati B., Panda D., Kundu B. Solid-earth tidal modulations of 2019 Ridgecrest earthquake sequence, California: any link with Coso geothermal field? // J. Seismol. 2023. Vol. 27. P. 737–751 <https://doi.org/10.1007/s10950-023-10166-4>.

Vargal P., Grafarend E. Influence of tidal forces on the triggering of seismic events // Pure Appl. Geophys. 2018. Vol. 175. P. 1649–1657

Zhamaletdinov A.A., Shevtsov A.N., Korotkova T.G. Lunisolar tides influence on electrical conductivity of the Earth's crust in the territory of Kola Peninsula // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2018. Vol. 54, No. 3. P. 474–486.

References

Bogolyubov B.N., Lobanov V.N., Nazarov V.E., Rylov V.I., Stromkov A.A., Talanov V.I. Amplitude-phase modulation of a seismoacoustic wave under the influence of the lunar-solar tide // Geology and Geophysics. 2004. Т. 45, No. 8. P. 1045–1049.

Bornyakov S.A., Miroshnichenko A.I., Salko D.V. Diagnostics of the pre-seismogenic state of structurally inhomogeneous media based on deformation monitoring data // Dokl. Academy of Sciences. 2016. Vol. 468, No. 1. P. 84–87.

Gordeev E.I., Saltykov V.A., Sinitsyn V.I., Chebrov V.N. On the issue of communication of high-frequency seismic noise with lunar-solar tides // Reports Academy of Sciences. 1995. Т. 340. No. 3. P. 386–388.

Zhamaletdinov A.A., Mitrofanov F.P., Tokarev A.D., Shevtsov A.N. The influence of lunar-solar tidal deformations on the electrical conductivity and fluid regime of the earth's crust // Dokl. RAS, 2000. Vol. 371, No. 2. P. 235–239.

Lamakin V.V. Baikal earthquakes and lunisolar tides // Nature. 1966. No. 9. P. 23–34.

Rasskazov S.V., Aslamov I.A., Snopkov S.V., Archipenko V.I., Ilyasova A.M., Chebykin E.P. The first experience of monitoring coseismic and aseismic variations of ORP, pH and temperature of groundwater in the Kultuk reservoir in real time (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., Snopkov S.V., Aslamov I.A., Archipenko V.I., Ilyasova A.M., Chebykin E.P. Express analysis of the manifestation of quasi-periodic

pulses of the redox potential of groundwater on the shore of Lake Baikal during real-time monitoring (February 07–14, 2024) // *Geology and Environment*. 2024. Vol. 4, No. 1.

Saltykov V.A. Features of the connection between high-frequency seismic noise and lunar-solar tides. // *Dokl. RAS*. 1995. Vol. 341, No. 3. P. 406–407.

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, st. Ulan-Batorskaya, 3,
Limnological Institute SB RAS,
email: ilya_aslamov@bk.ru.*

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 Vasilievich,

*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 Laboratory for Isotopic and Geochronological Studies,
tel.: (3952) 51–16–59,
email: rassk@crust.irk.ru.*

Снопков Сергей Викторович,

*кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
664025 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,
Иркутский государственный университет, геологический факультет, доцент,
664074, г. Иркутск, ул. Курчатова, 3,
Иркутский национальный исследовательский технический университет, Сибирская школа
геонаук, ведущий научный сотрудник,
email: snopkov_serg@mail.ru.*

Snopkov Sergey Viktorovich,

*Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, assistant professor,
664025 Irkutsk, Lenin st., 3,
Irkutsk State University, Faculty of Geology,
664074, Irkutsk, st. Kurchatova, 3,
Irkutsk National Research Technical University, Siberian School of Geosciences, Leading Researcher,
email: snopkov_serg@mail.ru.*

Архипенко Владислав Иванович,

главный специалист по электронике,

664033 Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3,
Лимнологический институт СО РАН,
email: vladarxip@gmail.com.
Arkhipenko Vladislav Ivanovich,
main electronics engineer,
664033 Irkutsk, st. Ulan-Batorskaya, 3,
Limnological Institute SB RAS,
email: vladarxip@gmail.com.

Ильясова Айгуль Маратовна,
кандидат геолого-минералогических наук, ведущий инженер,
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,
Институт земной коры СО РАН,
email: ila@crust.irk.ru.

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

Чебыкин Евгений Павлович,
кандидат химических наук, старший научный сотрудник,
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,
Институт земной коры СО РАН,
664033 Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3,
Лимнологический институт СО РАН,
email: epcheb@yandex.ru.

Chebykin Evgeny Pavlovich,
Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher,
664033 Irkutsk, st. Lermontova, 128,
Institute of the Earth's Crust SB RAS,
664033 Irkutsk, st. Ulan-Batorskaya, 3,
Limnological Institute SB RAS,
email: epcheb@yandex.ru.
