

Серия ОВП-импульсов подземных вод побережья Байкала 20–27 марта 2024 г.: вероятная связь с магнитными бурями

Е.П. Чебыкин^{1,2}, С.В. Рассказов^{1,3}, И.А. Асламов², С.В. Снопков^{3,4},
В.И. Архипенко², А.М. Ильясова¹

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

²Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

³Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

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

Аннотация. Короткая (8-ми суточная) серия ОВП-импульсов начинается малоамплитудными (около 1 мВ) колебаниями, частично сглаживается и прогрессирует до глубоких минимумов, достигающих 138 мВ. Эта серия отличается от импульсов, охватывающих полный (30-суточный) приливной лунно-солнечный цикл в феврале–начале марта 2024 г. Предполагается связь временных вариаций ОВП-импульсов с проявлением магнитных бурь. В качестве благоприятного фактора генерации мощных ОВП-импульсов рассматривается также сизигийный лунно-солнечный прилив. Мартовская серия импульсов сопровождается снижением фоновых значений ОВП. Подобное снижение ОВП, но без характерных импульсов, свойственно январским эпизодам проявления землетрясений в центральной части Байкальской рифтовой системы.

Ключевые слова: подземные воды, мониторинг, окислительно-восстановительный потенциал, pH, температура, лунно-солнечный прилив, магнитная буря, Байкал.

Series of ORP pulses in groundwater of the Baikal coast on March 20–27, 2024: probable connection with magnetic storms

E.P. Chebykin^{1,2}, S.V. Rasskazov^{2,3}, I.A. Aslamov², S.V. Snopkov^{3,4},
V.I. Archipenko², A.M. Ilyasova¹

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

²Limnological Institute, SB RAS, Irkutsk, Russia

³Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

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

Abstract. A short (8-day) series of ORP pulses begins with low-amplitude (about 1 mV) oscillations, partially smoothes out, and progresses to deep minima reaching 138 mV. The series differs from the pulses covering the full (30-day) tidal lunar-solar cycle in February–early March 2024. It is suggested that variations in ORP pulses are temporally related to magnetic storms. Also, for generation of powerful ORP pulses, the spring lunar-solar tide is considered as a favorable factor. The March series of pulses is accompanied by decreasing background ORP values. Similar ORP decrease, but without pulses, characterizes the January episodes of earthquakes in the central Baikal Rift System.

Keywords: groundwater, monitoring, oxidation-redox potential, pH, temperature, lunar-solar tide, magnetic storm, Baikal.

Введение

В скважинах мониторинговых станций 9 и 184 Култукского полигона побережья Байкала с начала декабря 2023 г. измеряется окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), pH и температура в режиме реального времени. Мониторинг дает меняющиеся характеристики ОВП подземных вод. Поступающая информация постоянно анализируется. Результаты мониторинга в режиме реального времени рассматриваются как имеющие смысл только во время прямого отслеживания происходящих изменений в подземных водах. Сразу после перехода вариаций ОВП в новый режим предшествующие данные становятся неактуальными.

Получаемая информация приводится в своевременно подготовленных публикациях. В конце декабря 2023 г. характеризуются условия установки зондов и первые результаты измерений. В декабре 2023 г. и январе 2024 г. происходят землетрясения, отражающиеся в графиках ОВП. В первой половине февраля 2024 г. на ст. 9 проявляются регулярные отрицательные импульсы ОВП, которые систематизируются на стадии вступления 07–14 февраля и в ходе развития полного 30-суточного цикла от его начала с

выходом на максимум до угасания 07 марта (Расказов и др., 2023, 2024; Асламов и др., 2024; Снопков и др., 2024).

В настоящей работе обращается внимание на проявление серии ОВП-импульсов ст. 9 в интервале 20–27 марта 2024 г. во время магнитных бурь и подчеркиваются особенности этой серии в сравнении с косейсмическими вариациями ОВП в декабре 2023 г. и январе 2024 г. и более продолжительными (30-суточными) ОВП-импульсами февраля и начала марта.

Общий график мартовского мониторинга

После завершения цикла вариаций ОВП-импульсов 07 февраля–07 марта 2024 г., сопровождающих полный сизигийно-квадратурный цикл лунно-солнечных приливов, наступает время, в течение которого импульсы отсутствуют. Единичный импульс с амплитудой (А) 11 мВ проявляется 15 марта с 08:56 до 09:16. Слабые возмущения в виде сдвоенных минимумов наблюдаются 16 и 18 марта, но систематические изменения на графике ОВП начинаются лишь 20 марта и заканчиваются 27 марта (рис. 1).

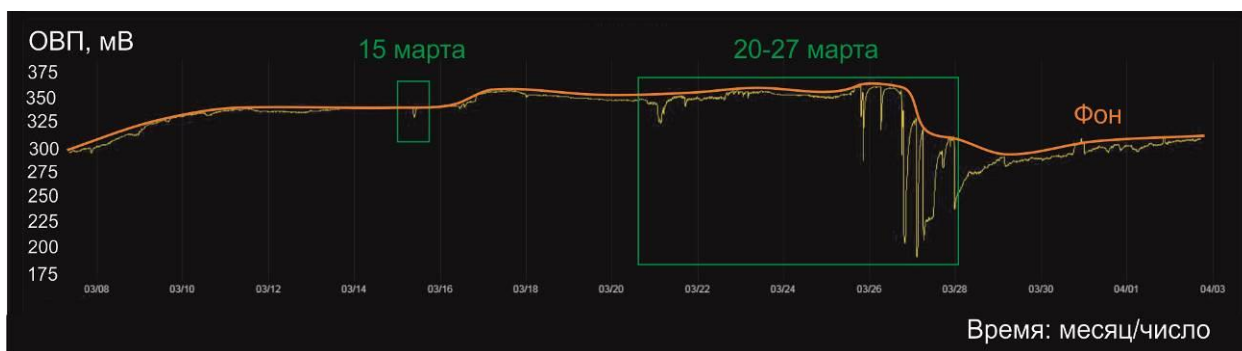


Рис. 1. Изменение ОВП в марте 2024 года на ст. 9. Отмечена серия импульсов 20–27 марта 2024 г. и единичный импульс 15 марта (объяснение в тексте).

Fig. 1. Variation of the ORP in March 2024 at st. 9. A series of pulses on 20–27 March 2024 and a single pulse on 15 March are marked (explanation in the text).

Начало серии ОВП-импульсов и магнитные бури

20 марта, в 19:36, вступают малоамплитудные ($A \approx 1$ мВ) колебания ОВП. Затем, 21 марта, в 01:00 наблюдается перегиб линии графика от 345 мВ, приводящий к минимуму

327 мВ в 02:28 и повторному минимуму 325 мВ в 03:22. На стадии релаксации этих глубоких минимумов (т.е. на восходящей кривой) образуются малые минимумы от 345 мВ в 04:46 до 334 мВ в 04:56 и последующие подобные колебания с длительностью от 1 ч до 1 ч 25 мин. Затем, 21 марта выявляется

небольшой минимум с 351 мВ в 16:46 до 342 мВ в 17:02. Этому минимуму соответствует

магнитная буря (15:00–21:00, $K_p=5$) (рис. 2).

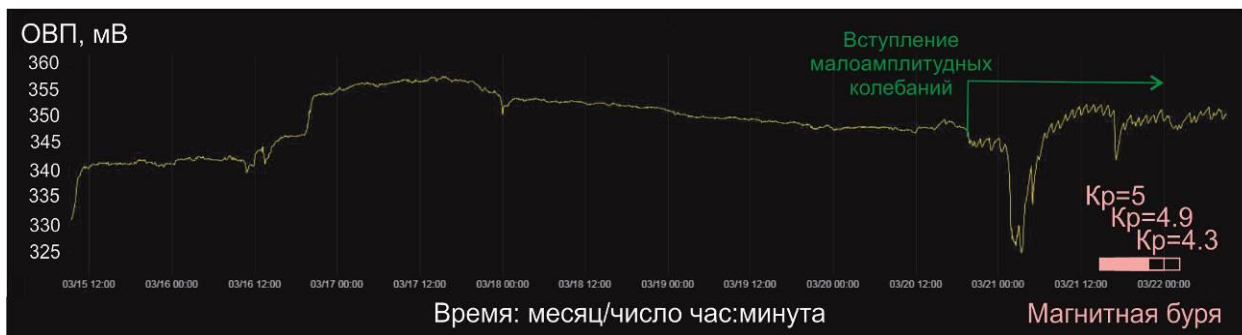


Рис. 2. График вступления колебаний ОВП с проявлением первой магнитной бури 21 марта (15:00–21:00, $K_p=5$), после которой в магнитосфере сохраняется возбуждение (21:00–00:00, $K_p=4.9$) с его относительным снижением 22 марта (00:00–03:00, $K_p=4.3$). Здесь и далее используются данные о магнитных бурях (https://xras.ru/magnetic_storms.html).

Fig. 2. A chart of the beginning of ORP oscillations with a first magnetic storm development on March 21 (15:00–21:00, $K_p=5$), after which the excitation of the magnetosphere persists (21:00–00:00, $K_p=4.9$) with its relative decrease on March 22 (00:00–03:00, $K_p=4.3$). Here and further, data on magnetic storms are adopted from (https://xras.ru/magnetic_storms.html).

Малоамплитудные колебания продолжают 22 и 23 марта и сглаживаются в интервале от 13:02 23 марта до 14:44 24 марта. Перед вхождением в режим сглаживания ОВП начинается магнитная буря ($K_p=5$). В конце интервала сглаживания происходит

наиболее сильная магнитная буря ($K_p=6-8$). После сглаживания магнитная буря с высокими значениями K_p продолжается в сопровождении малоамплитудными колебаниями ОВП (рис. 3).

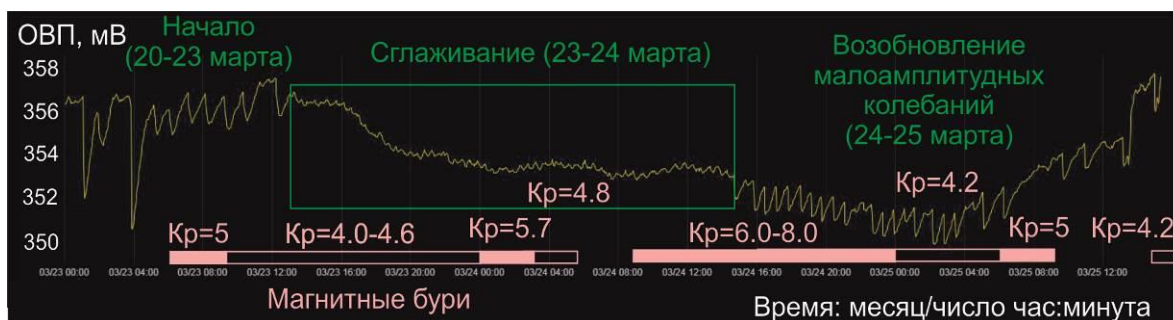


Рис. 3. Сглаживание колебаний ОВП 23–24 марта, во время магнитных бурь. Магнитная нестабильность начинается 21 марта (15:00–21:00, $K_p=5$) и идет на спад 25 марта (06:00–09:00, $K_p=5$; 15:00–18:00, $K_p=4$).

Fig. 3. Smoothing of ORP fluctuations on March 23–24, during magnetic storms. Magnetic instability starts on March 21 (15:00–21:00, $K_p=5$) and goes to decrease on March 25 (06:00–09:00, $K_p=5$; 15:00–18:00, $K_p=4$).

Большеамплитудные ОВП-импульсы после магнитных бурь

Большеамплитудная серия ОВП-импульсов прослеживается после последней магнитной бури, в течение двух суток (от 19:10 25 марта до 23:38 27 марта). В ней насчитывается 7 событий, которые наблюдаются при снижении фоновых значений

ОВП от 363 мВ (25 марта) через 312 мВ (27 марта) до 292 мВ (29 марта) (рис. 4).

Импульс 1 сдвоенный. Линия импульса начинается от перелома 363 мВ в 19:10 25 марта, выходит на промежуточный минимум 331 мВ в 19:18, возвращается к значению ОВП 356 мВ в 20:16 и уходит в более глубокий минимум 294 мВ в 20:24.

Импульс 2 наблюдается 26 марта от перелома линии 362 мВ в 06:24 до минимума 324 мВ в 06:34.

Импульс 3 по конфигурации подобен импульсу 1 (т.е. сдвоен). Линия импульса начинается от перелома 358 мВ в 17:50 26 марта, выходит на промежуточный минимум 293 мВ в 18:00, возвращается к значению ОВП 337 мВ в 18:48 и уходит в более глубокий минимум 205 мВ в 19:58.

Импульс 4 наблюдается 27 марта ночью. Он имеет 2 минимума. Начальный слабый минимум устанавливается от 328 мВ в 01:00 до 323 мВ в 01:12, более глубокий (точнее, самый глубокий) – от 329 мВ в 02:06 до 191 мВ в 02:32.

Импульс 5 идет следом от перелома 319 мВ в 05:56 до минимума 209 мВ в 06:12. Его вторая (неудавшаяся) часть выражается отрезком, параллельным оси абсцисс, который

имеет точку резкого перегиба на повышение при значении ОВП 232 мВ в 11:42.

Импульс 6 небольшой. Он стартует от зубчатого фона с перегибом линии от 297 мВ 27 марта в 16:28. Линия опускается в минимум до 281 мВ в 17:08.

Импульс 7, подобно импульсу 6, стартует от зубчатого фона с перегибом линии от более высокого фона 312 мВ 27 марта в 23:04 и имеет более глубокий минимум 239 мВ в 23:38.

В серии из семи импульсов между тремя начальными событиями 26 марта последовательно устанавливаются паузы 10 ч 10 мин и 7 ч 24 мин, между последующими четырьмя событиями 27 марта – паузы в среднем около 6 часов. Амплитуда нарастает от первого импульса к четвертому с последующим уменьшением относительно нисходящей линии фона (рис. 4).

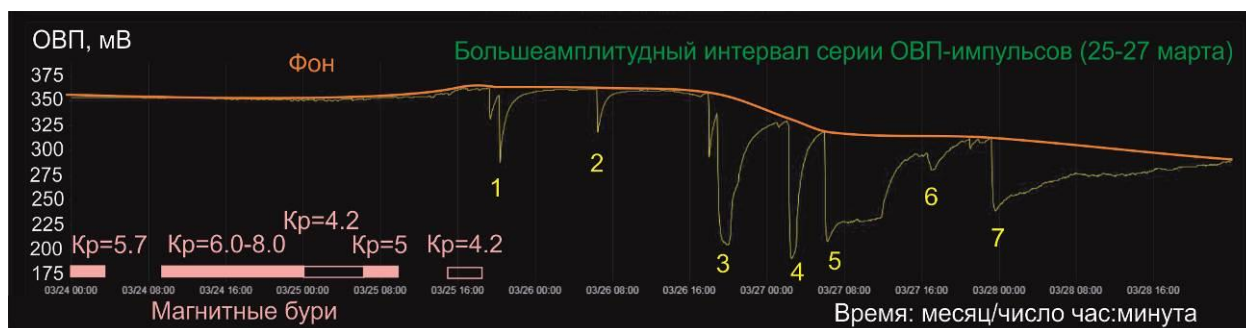


Рис. 4. Проявление большеамплитудных ОВП-импульсов 25–28 марта, после магнитных бурь. Малоамплитудные импульсы в растянутой шкале ординаты становятся неразличимыми.

Fig. 4. Appearance of large-amplitude ORP pulses on 25–28 March after magnetic storms. Low-amplitude pulses on an expanded ordinate scale become indistinguishable.

Обсуждение

Различие ОВП-импульсов временных интервалов 07 февраля–07 марта и 20–27 марта 2024 г.

ОВП-импульсы интервала 20–27 марта существенно отличаются от импульсов интервала 07 февраля – 07 марта.

Во-первых, в марте сокращается общая продолжительность импульсов с 30-ти суток до 8-ми суток. Сокращение продолжительности импульсов может свидетельствовать о смене механизма их генерации.

Во-вторых, во временном интервале 07 февраля – 07 марта 2024 г. ОВП-импульсы накладываются на ход общих изменений

этого параметра подземных вод. Мощный сигнал не подвергается влиянию прокачки скважины. После 07 марта наблюдается подъем линии фона 08–12 марта, а после 15 марта – слабые вариации, связанные с началом ОВП-импульсов интервала 20–27 марта при существенном снижении линии фона во время большеамплитудных импульсов (см. рис. 1, 4). Такой характер вариаций фона свидетельствует о том, что в данном случае импульсы не наложены на независимый ход ОВП изменений подземных вод, а отражают суть генеральной вариационной линии. Иными словами, падение линии ОВП имеет непосредственную связь с проявлением импульсов 1–7 на рис. 4. Более того, подобное падение ОВП, но с меньшей амплитудой,

наблюдается на графике начальных событий серии ОВП-импульсов рис. 3 при сглаживании колебаний.

В-третьих, амплитуды февральско-мартовского интервала в стадию максимальной активности не превышали 50 мВ, а амплитуды мартовского интервала были в целом существенно больше и достигали 138 мВ.

Вероятная связь ОВП-импульсов с магнитными бурями при сизигийном лунно-солнечном приливе как благоприятном факторе

Вариации фона ОВП и импульсы совпадают по времени с магнитной бурей, поэтому можно предположить, что они связаны с процессами в подземных водах, вызванными электрическими явлениями, производными магнитной бури. Импульсы начинаются с малой амплитудой до магнитной бури, сглаживаются и возобновляются с малой амплитудой во время магнитной бури при резком возрастании по амплитуде после окончания магнитной бури. Во время магнитной бури идет подготовка электрического процесса в подземных водах, который реализуется в вариациях ОВП после ее окончания.

30-суточный интервал февраля и начала марта перекрывает полный цикл лунно-солнечных приливов, 8-суточный интервал относится к особой суперпозиции Луны и Солнца – противостоянию, при котором достигается сизигийный прилив.

Импульсы интервала 20–27 марта проявляются в результате совмещения во времени нескольких магнитных бурь с сизигийным приливом. Небольшая магнитная буря, произошедшая 3 марта 2024 г., совпадает с квадратурным приливом. В это время импульсы интервала 07 февраля – 07 марта переходят в стадию угасания (рис. 5).

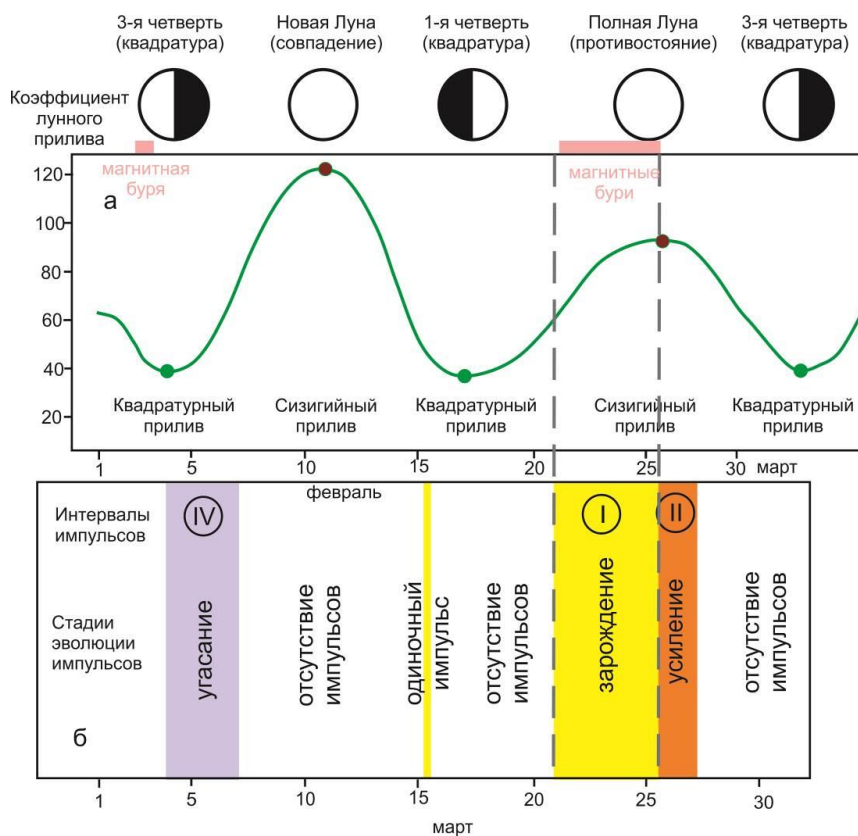


Рис. 5. Соотношение интервалов и стадий эволюции импульсов в марте 2024 г. с лунно-солнечными приливами и магнитными бурями. Стадия угасания (IV интервал) 04–07 марта относится к завершению 30-суточного периода ОВП-импульсов. Стадия зарождения (интервал I) и стадия усиления (интервал II) 20–27 марта совпадают с магнитными бурями и сизигийным приливом. Используются данные о вариациях уровня лунных приливов залива Байкал (север о-ва Сахалин) акватории Мирового океана на широте Среднего Байкала (п-ов Святой Нос) (<https://tides4fishing.com/ru/sakhalin-oblast/baikal-bay>).

Fig. 5. Correlation of intervals and stages of pulse evolution in March 2024 with lunar-solar tides and magnetic storms. The extinction stage (IV interval) March 04–07 refers to the end of the 30-day period of ORP-pulses. The inception stage (interval I) and the intensification stage (interval II) on March 20–27 coincide with magnetic storms and a spring tide. Data on variations in the level of lunar-solar tides in the Baikal Bay (north of Sakhalin Island) in waters of the World Ocean at the latitude of Middle Baikal (Svyatoy Nos Peninsula) are used (<https://tides4fishing.com/ru/sakhalin-oblast/baikal-bay>).

Снижение фона ОВП-импульсов временного интервала 07 февраля–07 марта подобно косейсмическому снижению ОВП 15–28 января?

Основная цель мониторинга ОВП в режиме реального времени заключается в поисках критериев оценки угрозы землетрясений в центральной части Байкальской рифтовой системы. В качестве показателя такой угрозы регистрируется сейсмический интервал с 15 до 28 января 2024 г., начинающийся сильным Северо-Байкальским землетрясением, сопровождающийся перестройкой тренда ОВП на максимуме с последующим снижением этого параметра (Рассказов и др., 2024). Такое же снижение ОВП наблюдается в фоновых значениях ОВП-импульсов временного интервала 07 февраля – 07 марта.

Следовательно, ОВП может снижаться как при магнитных бурях так и при землетрясениях; в первом случае снижение фона ОВП сопровождается переходом от малоамплитудных минимумов к большеамплитудным, во втором случае минимумов не наблюдается.

Заключение

Анализ графика ОВП ст. 9 за март месяц показывает короткую (8-ми суточную) серию импульсов, совпадающую по времени с магнитными бурями. Она начинается малоамплитудными вариациями фона, которые в дальнейшем накладываются на ОВП-минимумы. С течением времени амплитуда ОВП-минимумов возрастает до 138 мВ. Особенности вариаций ОВП объясняются влиянием не только магнитных бурь, но и их сочетанием с сизигийным лунно-солнечным приливом.

Мартовская серия импульсов ст. 9 отличается от предшествующей 30-суточной серии февраля и начала марта по 1) короткому (8-суточному) проявлению, 2) характеру временной смены ОВП-импульсов и 3) существенному возрастанию амплитуды ми-

нимумов. В то же время, мартовская серия импульсов сопровождается снижением фона ОВП. Подобное снижение, но без минимумов ОВП, наблюдается при землетрясениях в центральной части Байкальской рифтовой системы во второй половине января.

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

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.

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. 2023. Т. 3, № 4. С. 161–181. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2023.4.161>

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 г.: сопоставление электрических эффектов с землетрясениями в центральной части Байкальской рифтовой системы // Геология и окружающая среда. 2024. Т. 4, № 1.

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.

<https://tides4fishing.com/ru/sakhalin-oblast/baikal-bay>

https://xras.ru/magnetic_storms.html

References

Aslamov I.A., Rasskazov S.V., Snopkov S.V., Archipenko V.I., Ilyasova A.M., Chebykin E.P. Generation of ORP pulses in groundwater from the Baikal coast in February-March 2024: 30-day real-time monitoring from initiation to extinction // *Geology and Environment*. 2024. Vol. 4, No. 1.

Rasskazov S.V., Aslamov I.A., Snopkov S.V., Archipenko 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

Чебыкин Евгений Павлович,

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

Chebykin Evgeny Pavlovich,

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

(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., Aslamov I.A., Snopkov S.V., Archipenko V.I., Ilyasova A.M., Chebykin E.P. Real-time monitoring of oxidation-redox 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.

Snopkov S.V., Rasskazov S.V., Aslamov I.A., Archipenko V.I., Ilyasova A.M., Chebykin E.P. Express-analysis of quasi-periodic displaying oxidation-redox potential impulses in groundwater from the Baikal shore in real-time monitoring (February 07–14, 2024) // *Geology and Environment*. 2024. Vol. 4, No. 1.

<https://tides4fishing.com/ru/sakhalin-oblast/baikal-bay>

https://xras.ru/magnetic_storms.html

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.

Асламов Илья Александрович,

кандидат физико-математических наук,
664033 Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3,
Лимнологический институт СО РАН,
старший научный сотрудник,
email: ilya_aslamov@bk.ru.

Aslamov Ilya Aleksandrovich,

Candidate of physical and mathematical sciences,
664033 Irkutsk, st. Ulan-Batorskaya, 3,
Limnological Institute SB RAS,
Senior Researcher,
email: ilya_aslamov@bk.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 Sci-
ences, 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,

664033 Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3,

Лимнологический институт СО РАН,

главный специалист по электронике,

email: vladarxip@gmail.com.

Arkhipenko Vladislav Ivanovich,

664033 Irkutsk, st. Ulan-Batorskaya, 3,

Limnological Institute SB RAS,

main electronics engineer,

email: vladarxip@gmail.com.

Ильасова Айгуль Маратовна,

кандидат геолого-минералогических наук,

664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,

Институт земной коры СО РАН,

ведущий инженер,

email: ila@crust.irk.ru.

Иуасова Аигул Маратовна,

*candidate of geological and mineralogical sci-
ences,*

664033 Irkutsk, Lermontov st., 128,

Institute of the Earth's Crust SB RAS,

leading engineer,

email: ila@crust.irk.ru.
