

# ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 543.427.4

DOI 10.26516/2541-9641.2026.2.7

EDN: MBZH1U

## Влияние сейсмических событий в Прибайкалье на физико-химические свойства подземных вод

С.В. Снопков<sup>1,2</sup>, И.А. Богданова<sup>1</sup>

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

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

**Аннотация.** Период сейсмической активизации во второй половине 2020 – первой половине 2021 года совпал с детальными измерениями физико-химических параметров подземных вод, проводимых на юго-западной оконечности Байкала. Статический анализ динамики сейсмической активности и изменения физико-химических параметров воды выявил взаимосвязь этих процессов.

**Keywords:** сейсмические события, энергия сейсмических событий, гидрофизикохимический мониторинг, статистический анализ, прогноз сейсмических событий

## Impact of Seismic Events in the Baikal Region on the Physical and Chemical Properties of Groundwater

S.V. Snopkov<sup>1,2</sup>, I.A. Bogdanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract.** The period of seismic activation in the second half of 2020 - the first half of 2021 coincided with detailed measurements of the physicochemical parameters of groundwater carried out at the southwestern tip of Lake Baikal. Static analysis of the dynamics of seismic activity and changes in the physical and chemical parameters of water revealed the relationship of these processes.

**Keywords.** seismic events, energy of seismic events, hydrophysical and chemical monitoring, statistical analysis, forecast of seismic events

### Введение

Одним из методов изучения сейсмической активности является мониторинг физико-химических свойств подземных вод. Гидрофизикохимический мониторинг уже более десяти лет выполняются специалистами Института земной коры СО РАН на территории Прибайкалья, в том числе на Култукском полигоне, расположенным на юго-западной оконечности Байкала

---

Статья получена: 29.06.2026; исправлена: 13.07.2026; принята: 17.07.2026.

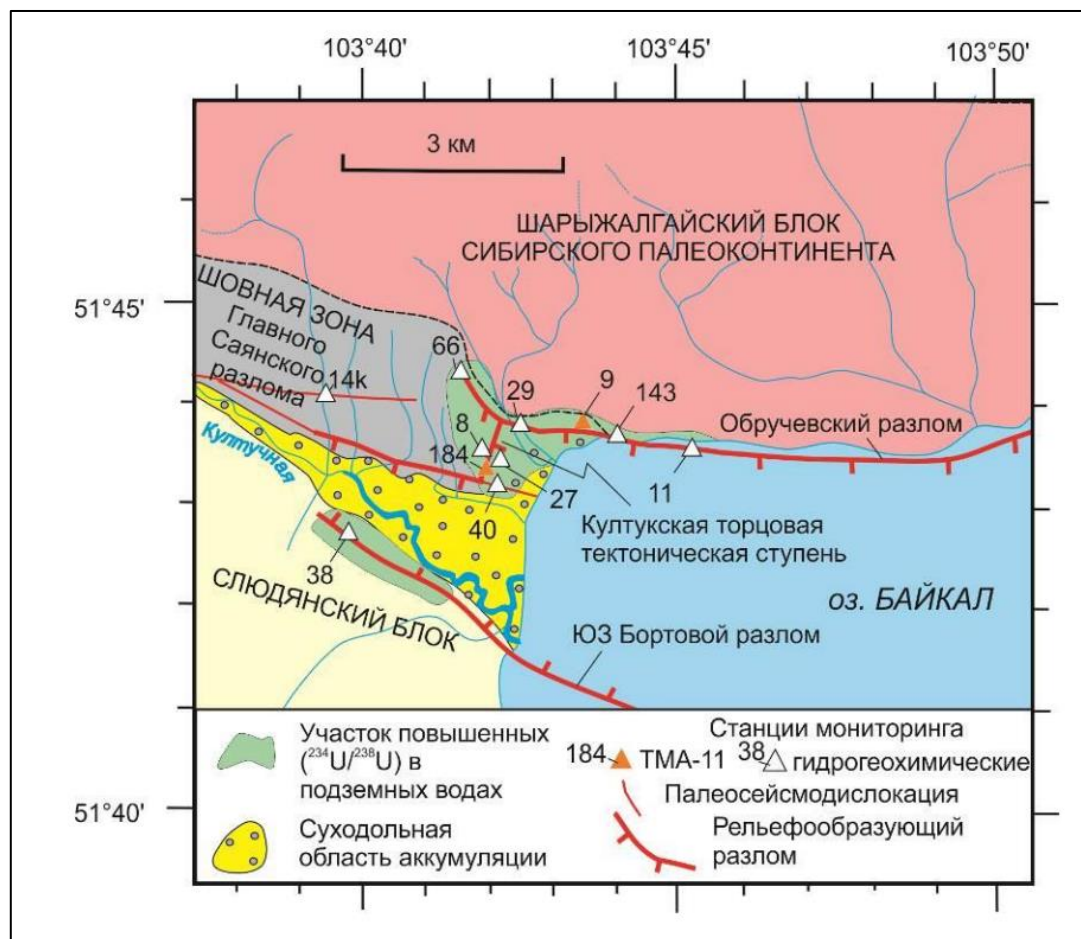
ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Снопков С.В., Богданова И.А. Влияние сейсмических событий в Прибайкалье на физико-химические свойства подземных вод // Геология и окружающая среда. 2026. Т. 6, № 2. С. 7–20. DOI 10.26516/2541-9641.2026.2.7. EDN: MBZH1U

Article received: 29.06.2026; corrected: 13.07.2026; accepted: 17.07.2026.

FOR CITATION: Snopkov S.V., Bogdanova I.A. Impact of seismic events in the Baikal Region on the physical and chemical properties of groundwater // Geology and Environment. 2026. Vol. 6, No. 2. P. 7–20. DOI 10.26516/2541-9641.2026.2.7. EDN: MBZH1U

(рис. 1). В районе Култукского полигона происходит сочленение Главного Саянского разлома с рифтогенными разломами, ограничивающими западную часть Южно-Байкальской впадины (Чебыкин и др., 2021).

О мониторинге свойств воды полигона подробно освещено в спецвыпуске «Последствия и оценка угрозы землетрясений» электронного журнала «Геология и окружающая среда» (2023, Т. 3, № 1). Полигон включает более 20 станций (водоисточников). В рамках проводимых мониторинговых исследований анализируется изменение химического (в том числе, Si, Al, Na, Li, Hg и др.) и изотопного состава ( $U^{238}$ ,  $U^{234}$ ) (Ильсова и др., 2023а; Ильсова и др., 2023б; Чебыкин и др., 2023а; Чебыкин и др., 2023б), и физико-химических показателей (ОВП, pH, TDS, t) подземных вод (Рассказов и др., 2023; Снопков и др., 2023). Пробы воды на станциях полигона отбираются раз в 1-2 недели.



**Рис. 1.** Схема расположения основных и вспомогательных станций гидрогеохимического опробования Култукского полигона (юго-западное побережье оз. Байкал. (Ильсова и др., 2023а)

**Fig. 1.** Layout of the main and auxiliary stations for hydrogeochemical testing of the Kultuk landfill (southwestern coast of Lake Baikal. (Ilyasova et al., 2023a)

Станция № 190 Култукского полигона находится в 150 м от берега Байкала и представляет собой колодец глубиной 8 м. С 15 октября 2020 года по 18 февраля 2021 года была проведена серия ежедневных измерений ОВП, pH, TDS и t воды для оценки степени их изменчивости. Всего период детальных исследований охватил 127 дней. За этот период в пределах Прибайкалья произошло

10 сейсмических событий классом более 11 и самое крупное за последние годы Хубсугульское землетрясение (12.01.2021) и его многочисленные афтершоки. Количество афтершоков (классом >9) за 80 суток после землетрясения превысило 250 (Снопков и др., 2023).

Поскольку период детальных гидрофизико-химических наблюдений совпал по времени с Хубсугульским землетрясением и его

афтершоковыми последствиями позволило детально проанализировать характер взаимосвязи сейсмических событий и динамики изменения физико-химических параметров воды.

Статистический анализ данных физико-химического мониторинга и суточного выделения энергии серии сейсмических событий, произошедших на озере Хубсугул в начале 2021 года, позволил выявить определенные закономерности взаимосвязи изучаемых параметров (Снопков и др., 2023).

Повышение выделяемой за сутки сейсмической энергии проявлялось в снижении уровня ОВП и pH подземных вод. Причем понижение ОВП обычно предшествовало сейсмическим событиям (1-6 дней до события), а уменьшение pH проявлялось как их последствие (1-6 дней после события). Также было отмечено что, чем выше была энергия сейсмических событий, тем раньше возникала аномалия ОВП и быстрее повышалась кислотность воды после него (Снопков и др., 2023).

Обнаруженные статистические зависимости не могут использоваться как однозначные сейсмопрогностические признаки, так как, во-первых, были выявлены всего лишь для одного и достаточно уникального Хубсугульского землетрясения и его афтершоковых последствий; во-вторых, очевидно, что на изменение физико-химических параметров подземных вод оказывает влияние и другие факторы, изменение которых в данном исследовании не анализировалось.

Так как в период серии ежедневных наблюдений (начавшихся 15 октября 2020

года) до Хубсугульского землетрясения в Прибайкалье произошло ещё 10 сейсмических событий энергетическим классом более 11, то решено было проверить полученные статистические закономерности для Хубсугульского землетрясения на предшествующих ему событиях.

Анализ «дохубсугульских» событий второй половины 2020 года отличался от изучения закономерностей Хубсугульского землетрясения. Так как, в период землетрясения на озере Хубсугул и его афтершоков в некоторые сутки происходило до нескольких десятков событий, то изменение электрохимических откликов в подземных водах сопоставлялось с суммарной сейсмической энергией, выделенной за сутки. (Например, 12 января 2021 года за сутки произошло более 30 событий с  $K > 11$ ) При анализе предшествующих Хубсугульскому землетрясению событий электрохимические отклики сопоставлялись с энергетическим классом событий.

### **Характер изменения физико-химических свойств подземных вод станции № 190 с 15 октября 2020 года по 18 февраля 2021 года**

Как было указано выше за период детальных измерений физико-химических свойств воды на станции № 190, кроме Хубсугульского землетрясения и его афтершоков, произошло ещё 10 сейсмических событий энергетическим классом более 11. Эти события приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

**Характеристика сейсмических события  $K > 11$  в Прибайкалье во второй половине 2020 года. (По данным Байкальского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (<http://seis-bykl.ru>))**

Table 1

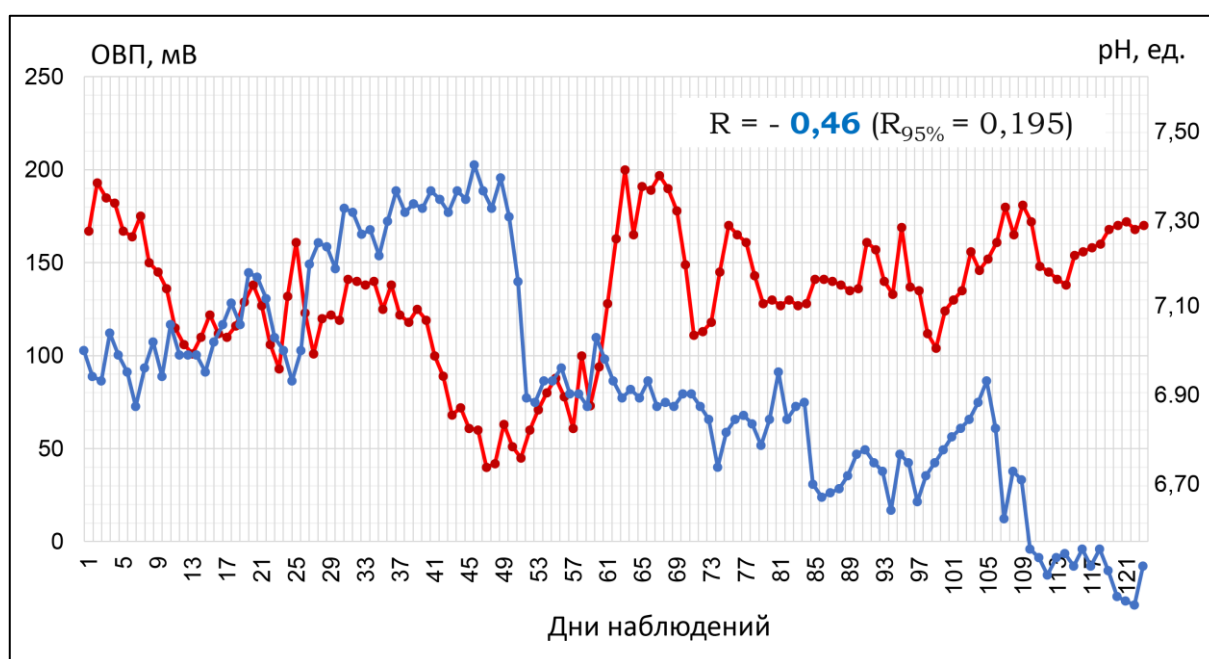
**Characteristics of seismic events  $K > 11$  in the Baikal region in the second half of 2020. (According to the Baikal branch of the Federal Research Center "Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences" (<http://seis-bykl.ru>))**

| № | Дата     | Координаты |         | Класс | Удаление от полигона, км | Примечания          |
|---|----------|------------|---------|-------|--------------------------|---------------------|
|   |          | Широта     | Долгота |       |                          |                     |
| 1 | 15.10.20 | 54.87      | 11.73   | 11.7  | 700                      | Баргузинская долина |
| 2 | 22.10.20 | 51.98      | 99.63   | 12    | 300                      | Восточные Саяны     |
| 3 | 03.11.20 | 49.61      | 108.93  | 11.8  | 500                      | р. Чикой            |
| 4 | 05.11.20 | 49.6       | 108.92  | 13.5  | 500                      | р. Чикой            |

|    |          |       |        |      |     |                   |
|----|----------|-------|--------|------|-----|-------------------|
| 5  | 10.11.20 | 56.06 | 113.89 | 12.1 | 900 | р. Верхняя Ангара |
| 6  | 3.12.20  | 55.73 | 111.03 | 12.8 | 700 | р. Верхняя Ангара |
| 7  | 10.12.20 | 52.38 | 106.59 | 14   | 200 | залив Провал      |
| 8  | 10.12.20 | 52.37 | 106.43 | 12.6 | 200 | залив Провал      |
| 9  | 15.12.20 | 56.33 | 112.73 | 11.3 | 750 | р. Верхняя Ангара |
| 10 | 29.12.20 | 56.14 | 114.07 | 12.9 | 900 | р. Верхняя Ангара |

На рисунке 2 приведены графики изменения ОВП и рН за период с 15 октября 2020 года (точка № 1) по 18 февраля 2021 года (точка № 127). При сопоставлении графиков наблюдается обратная корреляция общего характера изменения показателей ОВП и рН. Коэффициент корреляции показателей

составляет  $-0.46$ , что свидетельствует о высокой статистической взаимозависимости. Пороговый уровень при данной выборке при доверительной вероятности 0.95 составляет 0.195. Понижение уровня ОВП сопровождается повышением уровня рН.



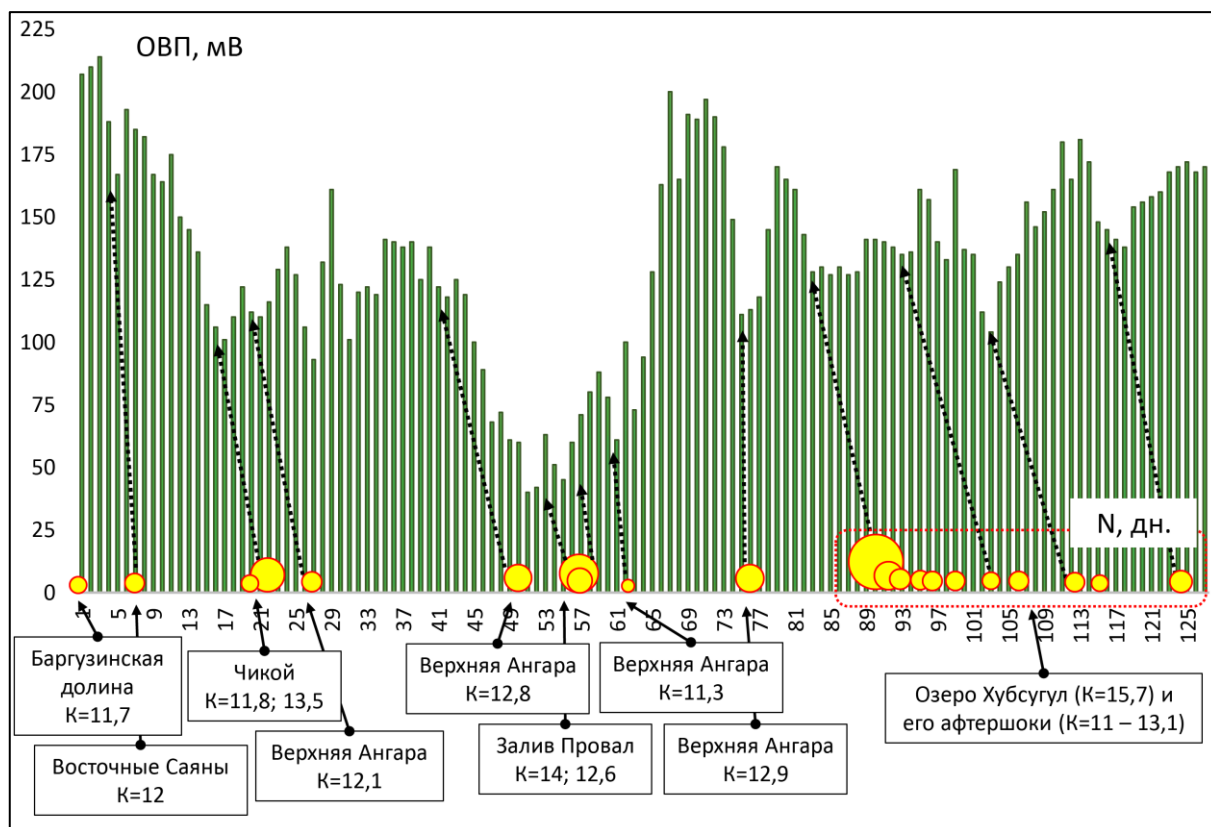
**Рис. 2.** Графики изменения ОВП (красная линия) и рН (синяя линия) воды станции № 190 Култукского полигона в период с 15 октября 2020 года по 18 февраля 2021 года. По горизонтальной оси указаны дни с начала серии наблюдения (1 – 15.10.20; 127 – 18.02.21)

**Fig. 2.** Graphs of changes in ORP (red line) and pH (blue line) of the water of station No. 190 of the Kultuk landfill from October 15, 2020 to February 18, 2021. The horizontal axis indicates the days from the start of the observation series (1- 15.10.20; 127 - 18.02.21)

Визуальный анализ графиков ОВП (рис. 3) и рН (рис. 4) показывает, что все сейсмические события ( $K > 11$ ) отражаются локальными понижениями анализируемых показателей. Причем ОВП и рН по-разному реагируют на события. Если отклики в рН проявляются через некоторое время после события, то в аномалии ОВП предшествуют сейсмическим событиям. Эти закономерности в изменении показателей изображены на рисунках 3 и 4, где отмеченные желтыми кружками сейсмические события ( $K > 11$ ) с

помощью пунктирных стрелок соотносятся с локальными аномалиями ОВП и рН. Соотношение электрохимических показателей с сейсмическим событиям сделано на основе визуального анализа данных, и является предположительным.

Следует также отметить, что не для всех локальных аномалий есть сейсмические события. Как минимум, 4 отрицательных аномалии по ОВП и 2 – по рН не имеют соответствующего высвобождения сейсмической энергии.

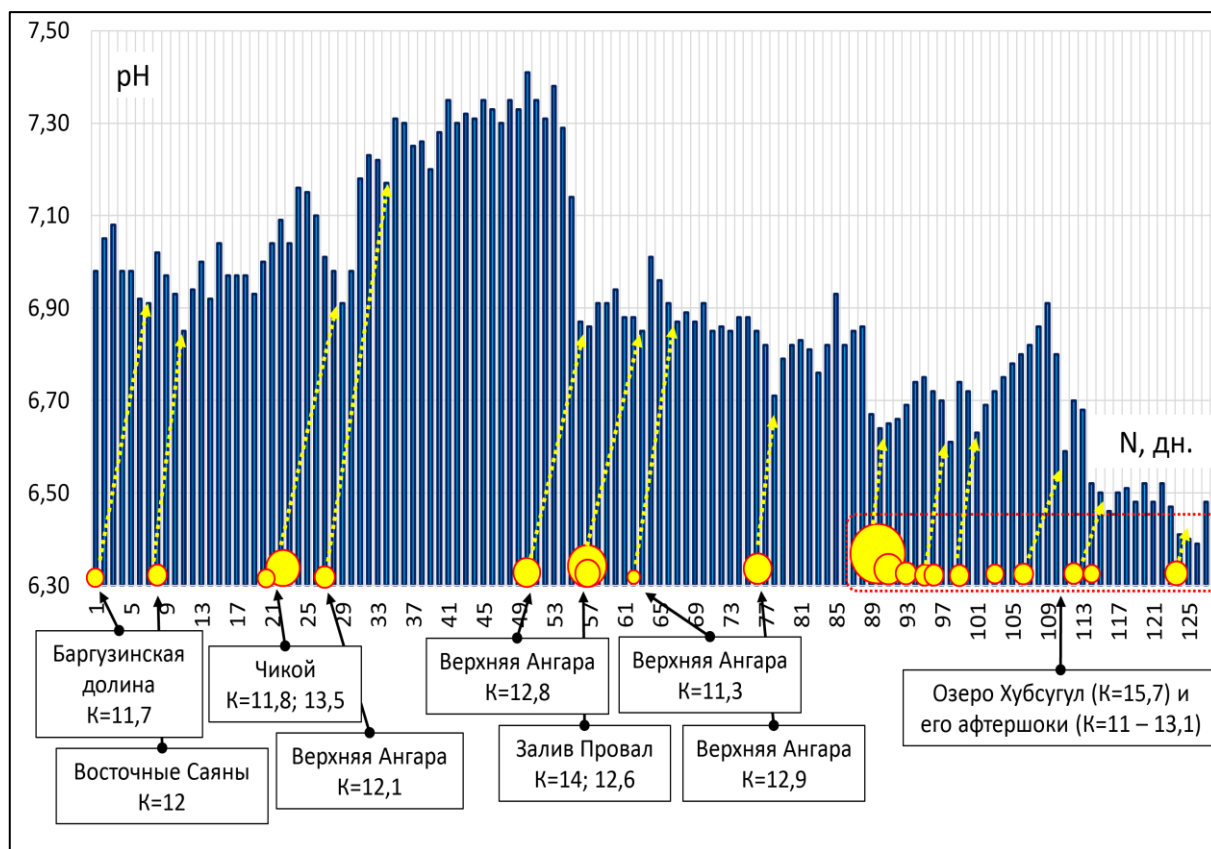


**Рис. 3.** График изменения ОВП воды станции № 190 Култукского полигона в период с 15 октября 2020 года по 18 февраля 2021 года. По горизонтальной оси указаны дни с начала серии наблюдения (1 – 15.10.20; 127 – 18.02.21). Желтыми кружками отмечены сейсмические события  $K > 11$ ; размер кружка соответствует энергетическому классу события; ниже графика указана информация о сейсмических событиях. Пунктирными стрелками указаны аномалии ОВП, предположительно соответствующие сейсмическим событиям

**Fig. 3.** Schedule of changes in the ORP of the water of station No. 190 of the Kultuk landfill from October 15, 2020 to February 18, 2021. The horizontal axis indicates the days from the start of the observation series (1- 15.10.20; 127 - 18.02.21). Yellow circles indicate seismic events  $K > 11$ ; the size of the circle corresponds to the energy class of the event; below the graph is information about seismic events. The dotted arrows indicate ORP anomalies suspected to correspond to seismic events

Для статистического анализа характера электрохимических откликов подземных вод на сейсмические события по графикам изменения ОВП и рН был определен ряд параметров, характеризующих локальные аномалии: время начала, конца и минимума аномалии (измеряемое в сутках от даты сейсмического события); продолжительность аномалии (в

сутках); амплитуда аномального эффекта (примерно определялась по характеру изменения графика) и скорость нарастания аномального эффекта – «градиент» (определялась как отношение амплитуды аномалии к продолжительности её изменения от начала до даты минимального значения аномалии). Анализ был проведен отдельно для значений ОВП и рН.

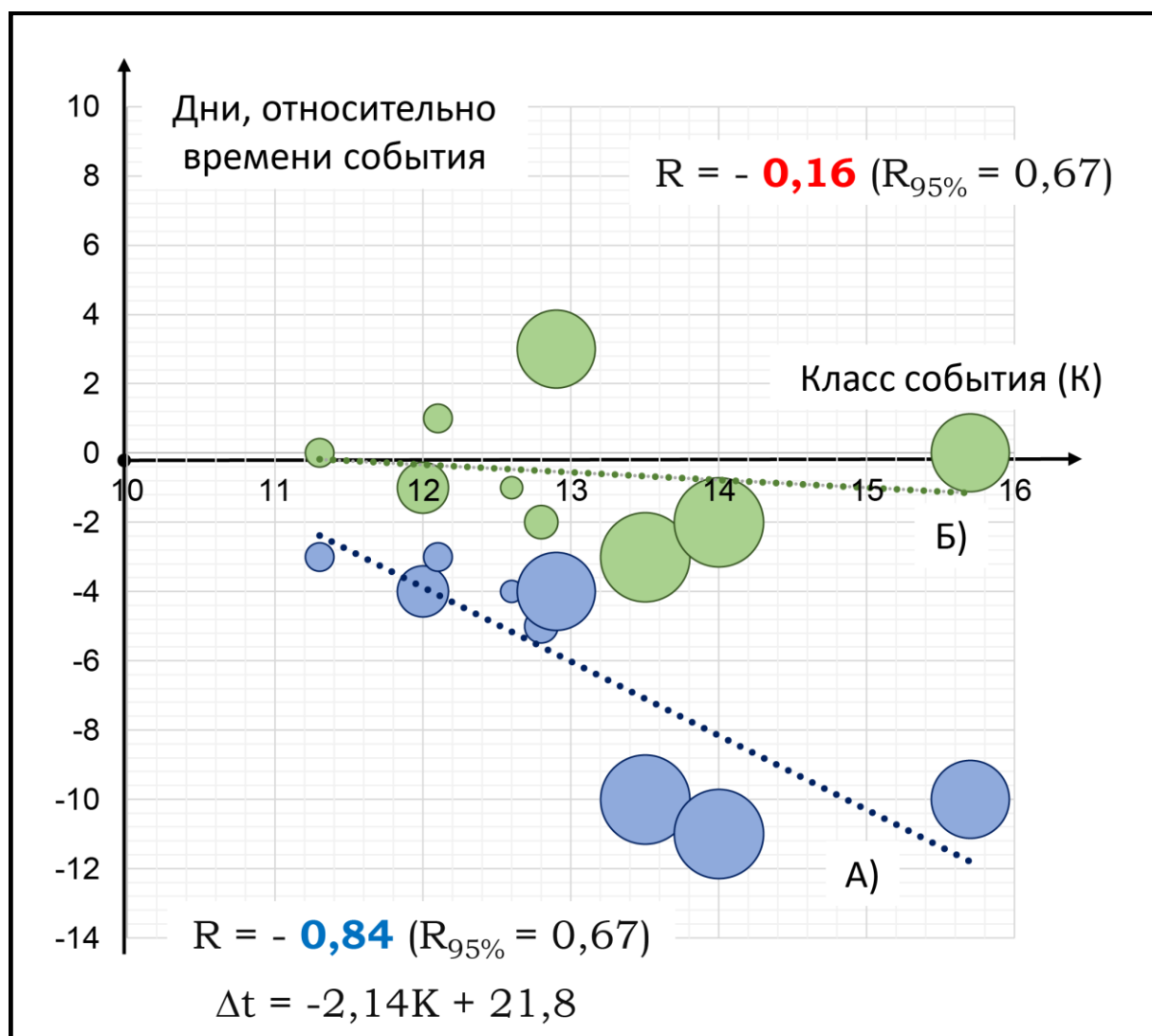


**Рис. 4.** График изменения pH воды станции № 190 Култукского полигона в период с 15 октября 2020 года по 18 февраля 2021 года. По горизонтальной оси указаны дни с начала серии наблюдения (1 – 15.10.20; 127 – 18.02.21). Желтыми кружками отмечены сейсмические события  $K > 11$ ; размер кружка соответствует энергетическому классу события; ниже графика указана информация о сейсмических событиях. Пунктирными стрелками указаны аномалии pH, предположительно соответствующие сейсмическим событиям

**Fig. 4.** Schedule of changes in the pH of the water of station No. 190 of the Kultuk landfill from October 15, 2020 to February 18, 2021. The horizontal axis indicates the days from the start of the observation series (1- 15.10.20; 127 - 18.02.21). Yellow circles indicate seismic events  $K > 11$ ; the size of the circle corresponds to the energy class of the event; below the graph is information about seismic events. The dotted arrows indicate pH anomalies assumed to correspond to seismic events

На рисунке 5 показаны зависимости количества предшествующих сейсмическому событию дней от начала (А) и конца (Б) локальной аномалии ОВП до даты сейсмического события относительно его энергетического класса. Как видно из диаграммы начало проявления аномалии хорошо коррелируется с энергетическим классом события.

Коэффициент корреляции ( $R$ ), составляющий  $-0.84$  превышает граничные пределы для данной выборки. Наблюдается четко выраженная линейная зависимость, регрессионное уравнение для которой также показано на диаграмме. Для завершения аномального отклика подобная зависимость от класса события выражена слабо:  $R$  не превышает  $0.16$ .



**Рис. 5.** Зависимости изменения числа дней начала (А) и конца (Б) локальной аномалии ОВП воды станции № 190 Култукского полигона относительно класса сейсмического события. Размер кружков соответствует относительной амплитуде локальной аномалии ОВП. На диаграмме указаны коэффициенты корреляции (R) анализируемых параметров. Шрифтом синего цвета выделен R показывающий значимую статистическую связь, красного цвета – отсутствие значимой связи. Пунктирной линией показана линейная регрессионная зависимость, и соответствующее ей регрессионное уравнение

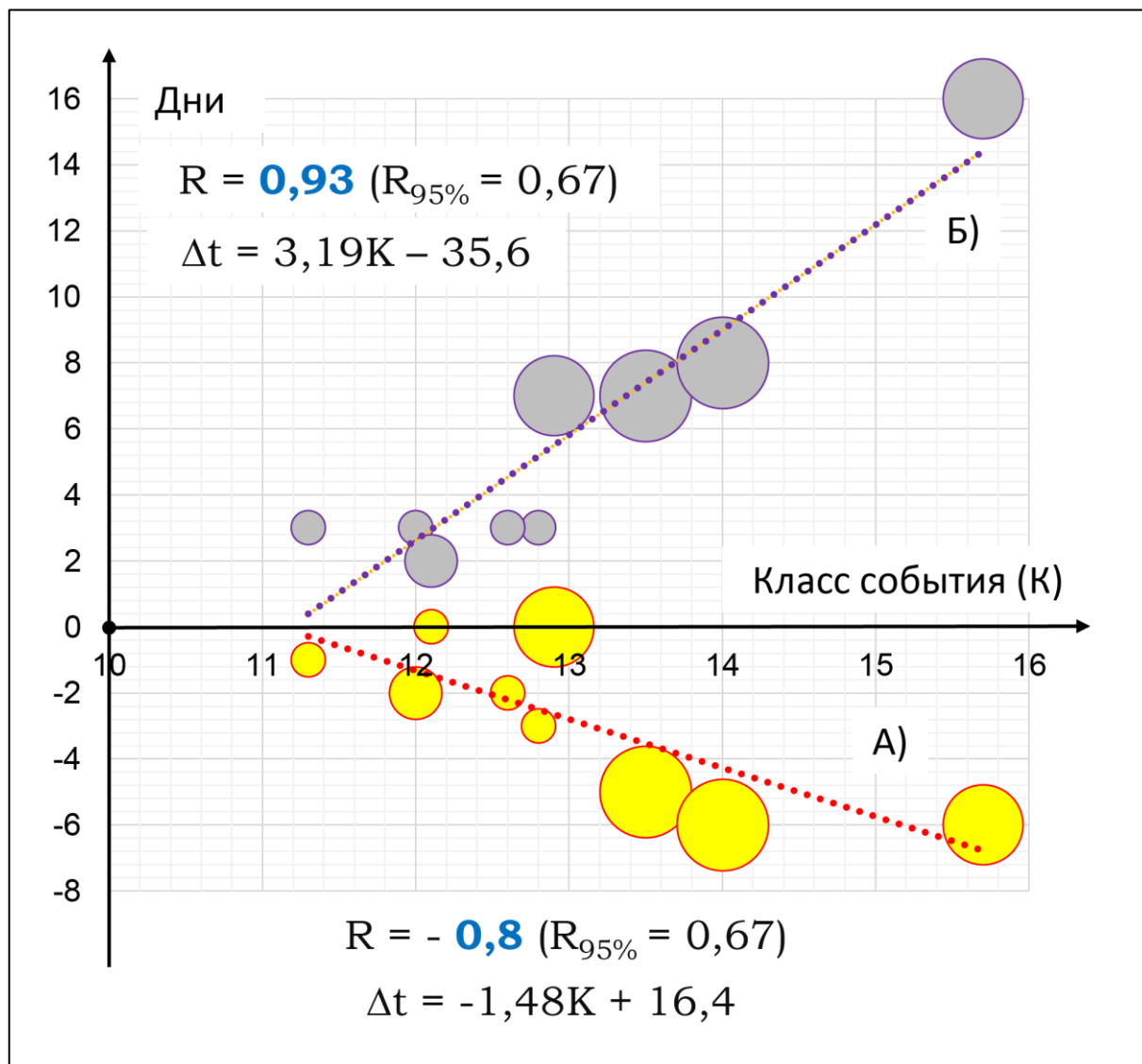
**Fig. 5.** Dependencies of the change in the number of days of beginning (A) and end (B) of the local ORP anomaly of the water of station No. 190 of the Kultuk polygon relative to the class of the seismic event. The size of the circles corresponds to the relative amplitude of the local ORP anomaly. The diagram shows correlation coefficients (R) of the analyzed parameters. The blue font indicates R showing a significant statistical relationship, red - no significant relationship. The dotted line shows the linear regression relationship and its corresponding regression equation

На рисунке 6 показано как энергетический класс события влияет на то за какое время до его наступления аномалия ОВП достигает экстремального значения и какова её «ширина». Время экстремума аномалии относительно даты события и ширина аномалии ОВП имеют значимую статистическую

зависимость от энергетического класса события. При этом аномалия ОВП предшествует сейсмическому событию – чем больше выделяемая энергия, тем раньше возникает аномалия. При этом «ширина» аномалии ОВП прямо пропорциональна классу события. Таким образом, из четырех характеристик

времени появления аномалии ОВП (начало, конец, экстремум, «ширина») наибольшая статистическая корреляция с классом

события отмечается у продолжительности аномалии («ширины») –  $R=0.93$ .



**Рис. 6.** Зависимости изменения числа дней достижения экстремума локальной аномалии ОВП по отношению к дате события (А) и её продолжительности (Б) для станции № 190 Култукского полигона относительно класса сейсмического события. Размер кружков соответствует относительной амплитуде локальной аномалии ОВП. На диаграмме указаны коэффициенты корреляции (R) анализируемых параметров. Шрифтом синего цвета выделен R показывающий значимую статистическую связь. Пунктирной линией показана линейная регрессионная зависимость, и соответствующее ей регрессионное уравнение

**Fig. 6.** Dependencies of the change in the number of days of reaching the extremum of the local AFP anomaly in relation to the date of the event (A) and its duration (B) for station No. 190 of the Kultuk polygon relative to the class of the seismic event. The size of the circles corresponds to the relative amplitude of the local ORP anomaly. The diagram shows correlation coefficients (R) of the analyzed parameters. The blue font indicates R showing a significant statistical relationship. The dotted line shows the linear regression relationship and its corresponding regression equation

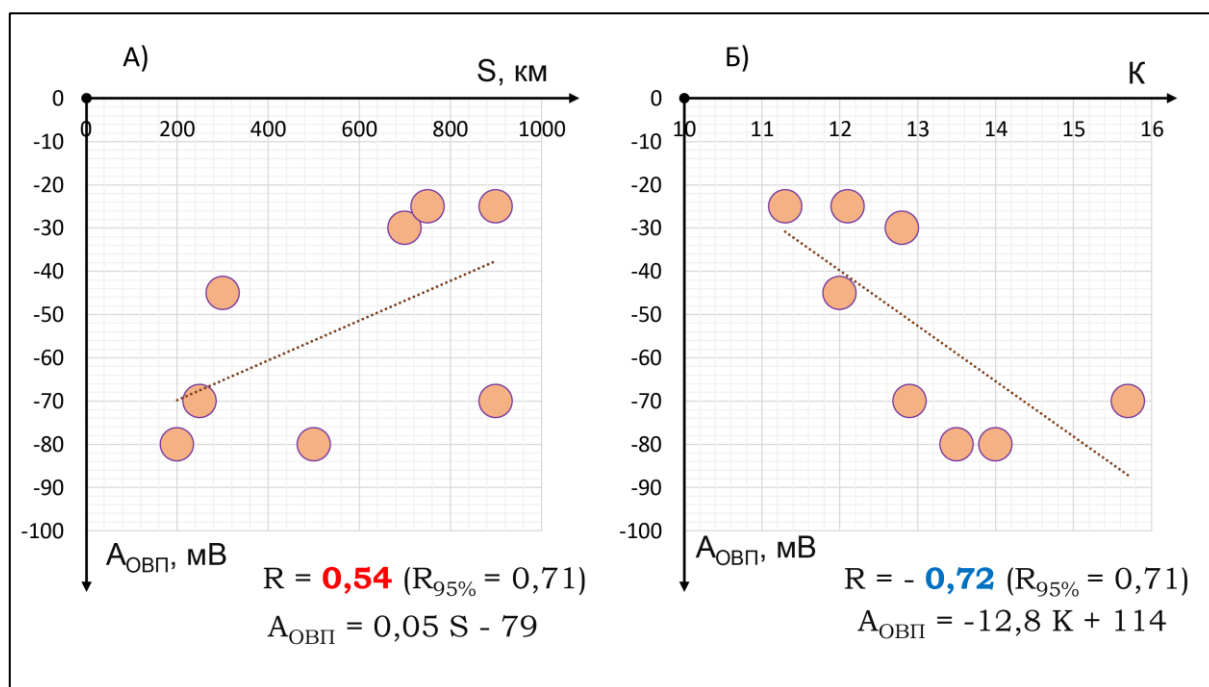
Кроме того, был проведен анализ взаимосвязи относительной амплитуды аномалии - Аовп и удаленности эпицентра

сейсмического события от станции наблюдения (S) и класса события (K) (рис. 7).

Как и следовало ожидать чем больше удаленность эпицентра, тем ниже аномальный отклик в изменении ОВП, но уровень этой статистической зависимости, как ни странно, низок. Коэффициент корреляции (0.54) ниже порогового значения для данной выборки при доверительной вероятности 0.95 (0.71). При этом заметно, что чем больше удаление

эпицентра события, тем меньше аномальный эффект.

Более значимая статистическая связь аномалии ОВП выявлена с энергетическим классом сейсмического события. Здесь коэффициент корреляции получился немного выше порогового значения. Чем выше энергия события, тем больше понижается значение ОВП подземных вод.

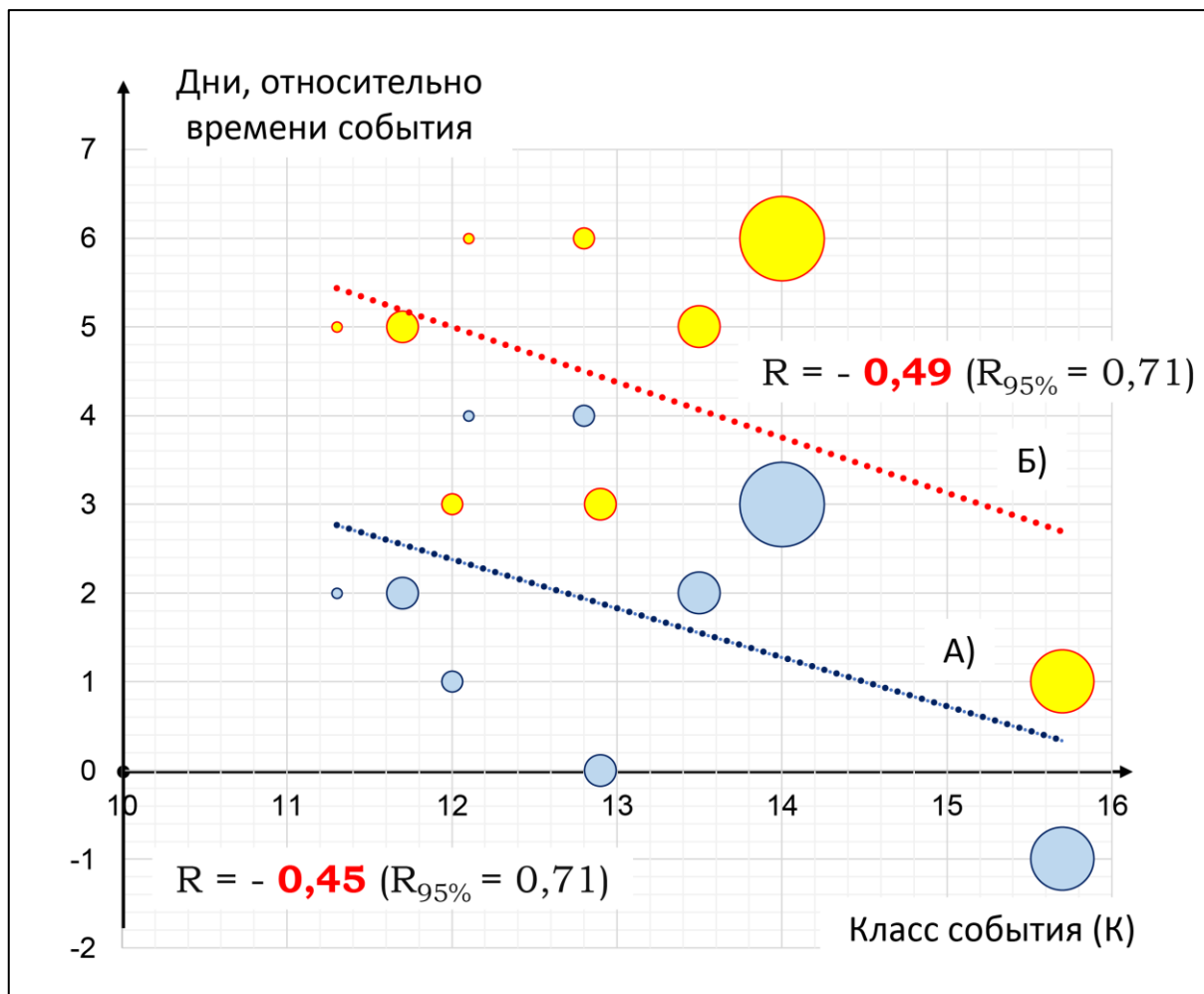


**Рис. 7.** Зависимости изменения относительной амплитуды аномалии ОВП ( $A_{ОВП}$ ) от удаленности эпицентра сейсмического события от станции наблюдения –  $S$  (А) и класса события –  $K$  (Б). На диаграмме указаны коэффициенты корреляции ( $R$ ) анализируемых параметров. Шрифтом синего цвета выделен  $R$  показывающий значимую статистическую связь; красного цвета – отсутствие значимой связи. Пунктирной линией показана линейная регрессионная зависимость, и соответствующее ей регрессионное уравнение

**Fig. 7.** Dependence of the change in the relative amplitude of the ORP anomaly ( $A_{ОРР}$ ) on the distance of the epicenter of the seismic event from the observation station -  $S$  (A) and the event class -  $K$  (B). The diagram shows correlation coefficients ( $R$ ) of the analyzed parameters. The blue font indicates  $R$  showing a significant statistical relationship; red - no meaningful association. The dotted line shows the linear regression relationship and its corresponding regression equation

На рисунке 8 показаны зависимости количества предшествующих сейсмическому событию дней от начала (А) и достижения экстремума локальной аномалии рН (Б) до даты сейсмического события относительно его энергетического класса. Как видно из диаграммы начало проявления и экстремум аномалии рН коррелируется с энергетическим классом события, гораздо менее значимо, чем

в случае с ОВП. Коэффициенты корреляции, составляющие  $-0.45$  и  $-0.49$  не превышает граничные пределы для данной выборки, то есть аномалии рН (также, как и ОВП) имеют отрицательный знак. Наблюдается слабая линейная зависимость параметров, но в отличие от ОВП, аномалии которого предшествуют сейсмическому событию, аномалии рН появляются после него.

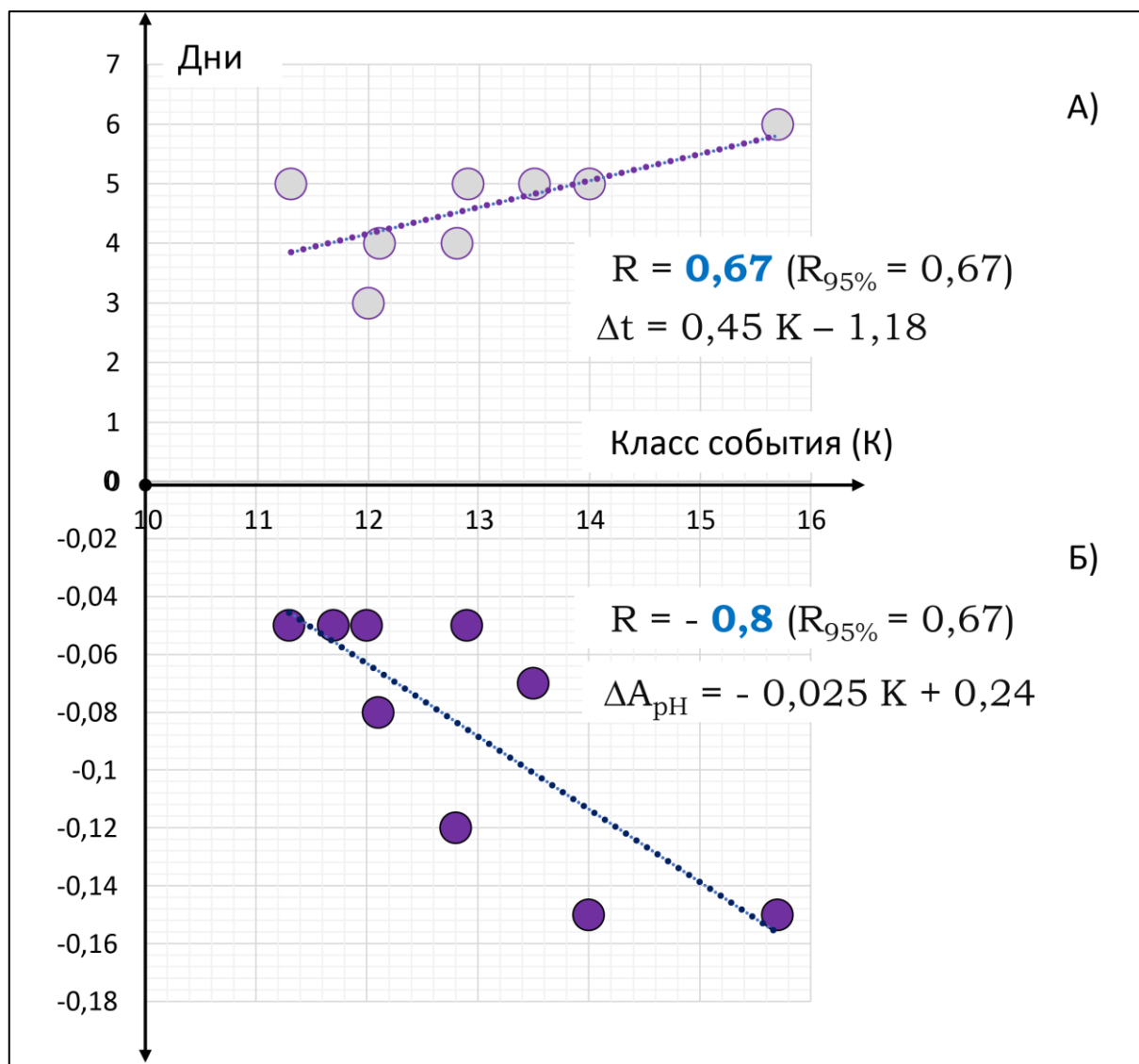


**Рис. 8.** Зависимости изменения числа дней начала (А) и достижения экстремума локальной аномалии рН (Б) воды по отношению к дате события от класса сейсмического события на станции № 190 Култукского полигона. Размер кружков соответствует относительной амплитуде локальной аномалии ОВП. На диаграмме указаны коэффициенты корреляции (R) анализируемых параметров. Шрифтом красного цвета выделен R показывающий отсутствие значимой связи. Пунктирной линией показана линейная регрессионная зависимость

**Fig. 8.** Dependence of the change in the number of start days (A) and the achievement of the extremum of the local anomaly pH (B) of water in relation to the date of the event on the class of the seismic event at station No. 190 of the Kultuk landfill. The size of the circles corresponds to the relative amplitude of the local ORP anomaly. The diagram shows correlation coefficients (R) of the analyzed parameters. The red font indicates R indicating the absence of a significant relationship. Dashed line shows linear regression relationship.

Также, как и для ОВП, ширина аномалий рН имеют значимую статистическую связь с классом сейсмического события – чем выше

выделяемая энергия, тем дольше длится аномальный отклик (рис. 9А).



**Рис. 9.** Зависимости изменения продолжительности локальной аномалии рН (А) и скорости её формирования (Б) для станции № 190 Култукского полигона относительно класса сейсмического события. На диаграмме указаны коэффициенты корреляции (R) анализируемых параметров. Шрифтом синего цвета выделен R показывающий значимую статистическую связь. Пунктирной линией показана линейная регрессионная зависимость, и соответствующее ей регрессионное уравнение

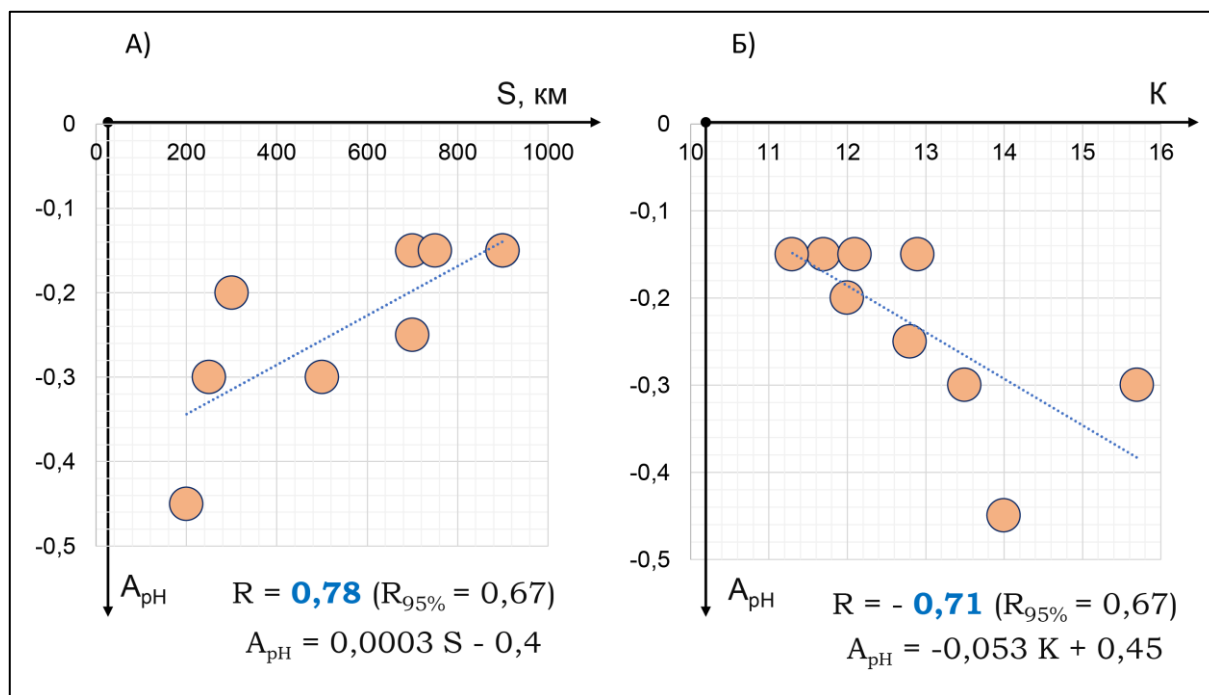
**Fig. 9.** Dependencies of the change in the duration of the local anomaly pH (A) and the rate of its formation (B) for station No. 190 of the Kultuk polygon relative to the class of the seismic event. The diagram shows correlation coefficients (R) of the analyzed parameters. The blue font indicates R showing a significant statistical relationship. The dotted line shows the linear regression relationship and the corresponding regression equation

Интересные результаты дало сравнение скорости формирования локальной аномалии (градиента) рН ( $\Delta A_{pH}$ ) с классом сейсмического события. На рисунке 9Б отчетливо видно, что чем выше выделяемая энергия, тем быстрее происходит появление отрицательной локальной аномалии.

Таким образом, чем выше класс сейсмического события, тем быстрее формируется аномалия рН, и тем больше её продолжительность.

На рисунке 10 показаны результаты анализа взаимосвязи относительной амплитуды аномалии –  $A_{pH}$  и удаленности эпицентра

сейсмического события от станции наблюдения (S) и класса события (K).



**Рис. 10.** Зависимости изменения относительной амплитуды аномалии рН ( $A_{pH}$ ) от удаленности эпицентра сейсмического события от станции наблюдения -  $S$  (А) и класса события –  $K$  (Б). На диаграмме указаны коэффициенты корреляции ( $R$ ) анализируемых параметров. Шрифтом синего цвета выделен  $R$  показывающий значимую статистическую связь. Пунктирной линией показана линейная регрессионная зависимость, и соответствующее ей регрессионное уравнение

**Fig. 10.** Dependencies of the change in the relative amplitude of the pH ( $A_{pH}$ ) anomaly on the distance of the epicenter of the seismic event from the observation station -  $S$  (A) and the event class -  $K$  (B). The diagram shows correlation coefficients ( $R$ ) of the analyzed parameters. The blue font indicates  $R$  showing a significant statistical relationship. The dotted line shows the linear regression relationship and the corresponding regression equation

Также, как и для ОВП, амплитуда рН зависит от класса сейсмического события – чем больше выделяемая энергия, тем больше аномальный отклик.

Но в отличие от аномалий ОВП, для которых зависимость от удаленности эпицентра проявлена слабо, для аномалий рН обратная корреляция с удаленностью от эпицентра имеет более значимую величину (рис. 10Б). Чем больше удаление эпицентра события, тем меньше аномальный эффект. (С учетом того, что аномалия имеет отрицательные значения коэффициенты корреляции на диаграмме показаны положительным для обратной зависимости от удаленности эпицентра и отрицательными для прямой зависимости от класса события.)

## Заключение

Проведенный анализ электрохимических откликов в подземных водах станции № 190 Култукского полигона на сейсмические события второй половины 2020 года, показал, что сейсмическая активность Прибайкалья отражается в изменении значений ОВП и рН.

Сейсмические события с  $K > 11$  создают локальные аномалии ОВП и рН. Причем если аномалии ОВП предшествуют событию, то отклики в распределении рН, как правило, появляются после него.

Значимая статистическая корреляция относительно энергетического класса события проявляется в количестве числа дней достижения экстремума аномалии (для ОВП – до, для рН – после); её продолжительности и скорости формирования. Амплитуда аномалий

ОВП и pH прямо пропорциональна классу события и обратно пропорциональна удаленности эпицентра.

Полученные данные согласуются с выявленными зависимостями при анализе последствий Хубсугульского землетрясения (2021 г.) (Снопков и др., 2023).

Конечно, анализируемый период наблюдений (127 дней) недостаточен для того, чтобы делать выводы постоянность подобных зависимостей. Изменение тектонической обстановки в регионе без сомнения может влиять на то, как сейсмическая активность влияет на электрохимические свойства подземных вод. И подобный анализ изменения параметров подземных вод под воздействием сейсмической активности нужно продолжать.

### Литература

Ильясова А.М., Снопков С.В. Косейсмические временные вариации термофильного элемента Si подземных вод западного побережья оз. Байкал в 2012–2022 гг. // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 1. С. 72–105.

Ильясова А.М., Чувашова И.С. Косейсмические вариации Li в подземных водах станции 27 Култукского полигона // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 1. С. 106–123.

Рассказов С.В., Снопков С.В., Борняков С.А. Соотношение времени землетрясений Байкало-Хубсугульской активизации с вариациями окислительно-восстановительного потенциала в подземных водах Култукского полигона // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 1. С. 181–201.

Снопков С.В., Куролентко А.А. Хубсугульское землетрясение 12 января 2021 г. и афтершоки: электрохимические отклики подземных вод юго-западного побережья Байкала // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 1. С. 172–180.

Чебыкин Е.П., Ильясова А.М., Рассказов С.В., Чувашова И.С., Борняков С.А., Снопков С.В. Култукское сочленение активных разломов Южно-Байкальской впадины и Главного Саянского разлома: чувствительный полигон гидрогеохимического мониторинга подготовки сильного землетрясения // Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ: тезисы докладов Всероссийского совещания, посвященного памяти профессора С.И. Шермана. Иркутск, 26–30 апреля 2021 г. / ФГБУН ИЗК СО РАН; ФГБОУ ВО

«ИГУ». Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 225–226.

Чебыкин Е.П., Рассказов С.В. Сравнительные исследования косейсмических изменений концентраций термофильных элементов Si, Na и Li в подземных водах ст. 27 на Култукском полигоне, оз. Байкал // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 1. С. 124–140.

Чебыкин Е.П., Чувашова И.С. Косейсмическая химическая гидрогеодинамика Култукского резервуара подземных вод: индикаторные роли Na/Li,  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}$  // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 1. С. 141–171.

### References

Ilyasova A.M., Snopkov S.V. Koseismic time variations of the thermophilic element Si of groundwater on the west coast of Lake Baikal in 2012–2022. // *Geology and environment*. 2023. Vol. 3, No. 1. P. 72–105.

Ilyasova A.M., Chuvashova I.S. Koseismic variations of Li in the groundwater of station 27 of the Kultuk landfill. // *Geology and environment*. 2023. Vol. 3, No. 1. P. 106–123.

Rasskazov S.V., Snopkov S.V., Bornyakov S.A. Relation of time of earthquakes of Baikal-Khubsugul activation with variations of redox potential in underground waters of Kultuk polygon. // *Geology and environment*. 2023. Vol. 3, No. 1. P. 181–201.

Snopkov S.V., Kurolenko A.A. Khubsugul earthquake on January 12, 2021 and aftershocks: electrochemical responses of groundwater of the southwestern coast of Lake Baikal. // *Geology and environment*. 2023. Vol. 3, No. 1. P. 172–180.

Chebykin E.P., Ilyasova A.M., Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Bornyakov S.A., Snopkov S.V. Kultuk junction of active faults of the South Baikal Depression and the Main Sayan Fault: a sensitive hydrogeochemical monitoring site for the preparation of a strong earthquake//Raztuk scrap formation in the lithosphere and related processes: tectonophysical analysis: theses of the reports of the All-Russian meeting dedicated to the memory of Professor S. I. Sherman. Irkutsk, April 26–30, 2021/FSBSI SB RAS; FSBEI HE "ISU." Irkutsk: ISU Publishing House, 2021. P. 225–226.

Chebykin E.P., Rasskazov S.V. Comparative studies of coseismic changes in the concentrations of thermophilic elements Si, Na and Li in groundwater of Art. 27 at the Kultuk training ground, Lake Baikal // *Geology and environment*. 2023. Vol. 3, No. 1. P. 124–140.

Chebykin E.P., Chuvashova I.S. Koseismic chemical hydrogeodynamics of the Kultuk underground water reservoir: indicator roles Na/Li,  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  и

$^{234}\text{U}$  //Geology and environment. 2023. Vol. 3, No. 1. P. 141-171.

**Снопков Сергей Викторович,**

кандидат геолого-минералогических наук, доцент,

664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,

Иркутский государственный университет,

доцент,

664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 91,

Сибирская школа геонаук Иркутский национальный исследовательский технический университет, научный сотрудник,

email: snopkov\_serg@mail.ru.

**Snopkov Sergey Viktorovich,**

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor,

Karl Marx st., 1, Irkutsk, 664003, Russia,

Irkutsk State University,

Associate Professor,

91 Lermontov st., Irkutsk, 664033, Russia,

Siberian School of Geosciences Irkutsk National Research Technical University,

Researcher,

email: snopkov\_serg@mail.ru.

**Богданова Ирина Анатольевна,**

664003, Россия, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,

Иркутский государственный университет,

старший преподаватель,

email: irinairk@gmail.com.

**Bogdanova Irina Anatolyevna,**

Karl Marx st., 1, Irkutsk, 664003, Russia,

**Irkutsk** State University,

Senior lecturer,

email: irinairk@gmail.com.