

УДК 55.504.624.131

РЕЗУЛЬТАТЫ КРАТКОСРОЧНОГО МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ ГЕЛИЯ И ОБОБЩЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ГОРНОГО АЛТАЯ

Дутова Екатерина Матвеевна^{1,2},
dutova@tpu.ru

Кац Валентина Елизаровна³,
altai.geo@yandex.ru

Шитов Александр Викторович⁴,
sav103@yandex.ru

Сурнин Алексей Иванович⁵,
ogec@sniiggims.ru

Драчев Сергей Сергеевич²,
oldwolf07@yandex.ru

¹²Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

² Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

³ Горно-Алтайское отделение «Сибирского регионального центра Государственного мониторинга состояния недр»
ФГБУ «Гидроспецгеология»,
Россия, 649100, с. Майма, ул. Заводская, 52.

⁴ Горно-Алтайский государственный университет,
Россия, 649000, г. Горно-Алтайск, ул. Ленкина, 1.

⁵ Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья,
Россия, 630091, г. Новосибирск, Красный пр., 67.

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования методов мониторинга характеристик подземных вод и их изменений в сейсмоактивных районах Республики Алтай. Подземные воды являются индикатором сейсмических процессов и реагируют на изменения напряженно-деформированного состояния горных пород в зонах очагов предстоящих тектонических землетрясений.

Целью: выявление краткосрочных изменений содержания гелия и обобщенных гидрогеохимических показателей в высоко динамичных объектах мониторинга подземных вод Республики Алтай для поиска предвестников сильных сейсмических событий.

Методы. В основу работы положены результаты ежесуточного мониторинга подземных вод на территории Республики Алтай, который осуществлялся в январе–феврале 2021 г. на пунктах наблюдения за температурным режимом и качественным составом подземных вод – скважина и колонка – Горно-Алтайского отделения «Сибирского регионального центра Государственного мониторинга состояния недр».

Результаты. Впервые на территории Горного Алтая было проведено изучение динамики обобщенных геохимических характеристик и содержания гелия в подземных водах и показаны их кратковременные (1–3 сутки) изменения в связи с землетрясениями. Для проведения данных исследований были взяты две точки мониторинга подземных вод, расположенные в г. Горно-Алтайске (колонка) и с. Старый Бельтир (скважина), удаленные друг от друга на расстояние более 200 км. Данные точки мониторинга были выбраны в связи с тем, что там было зафиксировано существенное изменение геохимических характеристик подземных вод при подготовке и протекании сейсмических событий в регионе. В работе дана характеристика сейсмического режима Алтае-Саянского региона в период мониторинга. Для выявления динамики содержания гелия и обобщенных геохимических показателей подземных вод в период 14.01–23.02.2021 г. нами было проведено опробование. Результаты опробования показали, что точка мониторинга Старый Бельтир, расположенная в разломной зоне вблизи эпицентральной зоны Чуйского землетрясения (2003 г.), характеризуется высокой чувствительностью изменений как обобщенных характеристик подземных вод, так и высокой степенью реагирования содержания гелия на землетрясения. В результате исследований было выявлено, что Монгольское землетрясение (2021 г.) не оказало влияния на геохимический состав подземных вод изучаемых пунктов мониторинга, расположенных на территории Горного Алтая. В то же время в представленных пунктах мониторинга подземных вод в большей степени отражаются ближайшие к ним сейсмические события. Выбранные пункты мониторинга в ряде случаев не перекрывают друг друга и реагируют в основном на ближайшие к ним землетрясения, в том числе и на слабые. Наиболее динамичная реакция на землетрясения отмечена у гелия, pH, Eh, температуры.

Ключевые слова:

подземные воды, мониторинг подземных вод, обобщенные геохимические показатели, гелий, зоны разрывных нарушений, землетрясения.

Введение

Мониторинг гидрогеохимических характеристик при подготовке землетрясений всегда является актуальным и важным направлением совершенствования научных исследований. Известно, что подготовка крупных землетрясений занимает большое количество времени, при этом происходят постепенные изменения геодинамических характеристик в сейсмически опасных регионах, которые, как уже было доказано, можно отслеживать по динамике гидрогеохимических характеристик и газовых эманаций [1–9].

На территории Горного Алтая нами с 2000 г. и по настоящее время проводятся специализированные гидрогеологические и гидрогеохимические исследования с целью выявления отклика геологической среды на подготовку сильных сейсмических событий, происходящих и в Алтае-Саянском регионе в целом. По результатам этих исследований нами выявлено последствие Чуйского землетрясения и афтершоковых сейсмических событий, продолжающихся на Алтае до настоящего времени, на гидродинамический режим и химический состав подземных вод (микроэлементы и макрокомпоненты). Колебания показателей гидродинамического режима и химического состава вод носят как региональный, так и локальный характер, увязываясь с малоамплитудными сейсмическими событиями

(их магнитудой, глубиной эпицентра, гидрогеологической ситуацией). Аномальные значения индикаторных (косейсмических) показателей химического состава подземных вод (азотистые соединения, фтор, кремний, радон) прослеживаются в течение 1–2 недель, после чего фоновый состав вод восстанавливается [10, 11].

Роль газов гелия и радона в такого рода исследованиях бесспорна. Изучение динамики газов в подземных водах смежных территорий Прибайкалья показали, что в краткосрочной перспективе наблюдаются специфические особенности вариаций газов (гелия, радона) при подготовке землетрясений [12, 13]. Нами в 2014–2015 гг. были проведены площадные исследования распределения гелия в подземных водах Горного Алтая. Было выявлено, что высокое содержание гелия в подземных водах связано с разломными зонами на границах тектонических блоков, приуроченных к эпицентральной зоне Чуйского землетрясения, максимальные значения картографируются именно в этом артезианском бассейне (рис. 1). Повышенная концентрация гелия в подземных водах предполагает количественную связь между геохимическими и сейсмологическими параметрами, что представляет практический интерес для обнаружения возможного изменения деформации породного массива перед сильным землетрясением [14].

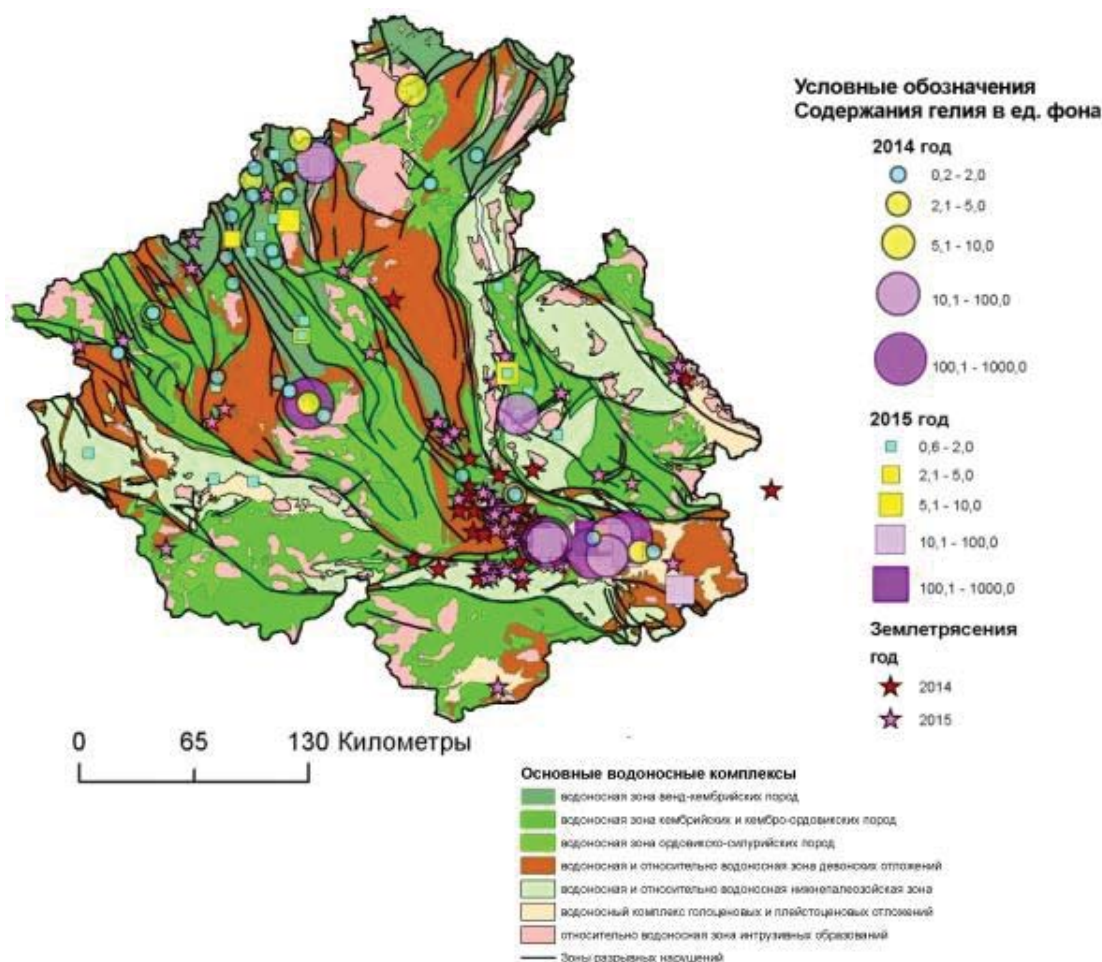


Рис. 1. Распределение гелия в подземных водах Республики Алтай [14]

Fig. 1. Helium distribution in the Altai Republic underground waters

Методика исследования

Краткосрочные мониторинговые исследования для выявления реагирования геохимических характеристик подземных вод на Монгольское землетрясение, а также другие сейсмические события проводились в период с 14.01.2021 по 24.03.2021 гг.

Для проведения данных исследований были определены два пункта мониторинга подземных вод, расположенные в г. Горно-Алтайске (колонка) и с. Старый Бельтир (скважина), удаленные друг от друга на расстояние более 200 км. Данные объекты мониторинга были выбраны в связи с тем, что там ранее нами было зафиксировано существенное изменение характеристик подземных вод при подготовке и протекании сейсмических событий в регионе.

Первый пункт наблюдений расположен в г. Горно-Алтайске и представляет собой колонку по ул. Северная. Выбор этого пункта мониторинга связан с тем, что с 2004 г. в данной колонке после землетрясения резко повысилась температура (до 40 °С) и изменился химический состав воды [15]. В дальнейшем было выявлено реагирование динамики изучаемых параметров на сейсмический процесс Горного Алтая.

Второй пункт наблюдения расположен в с. Ст. Бельтир и представляет собой скважину. Данный объект находится в эпицентральной зоне афтершокового процесса Чуйского землетрясения (2003 г.), и по результатам мониторинга здесь было выявлено, что химический состав меняется в результате землетрясений, происходящих на территории Горного Алтая.

Аналитические работы по определению гелия выполнялись по стандартной методике на приборе ИНГЕМ-1 [16, 17] в лаборатории гидрогеологии нефтегазовых провинций Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья (г. Новосибирск).

Измерения проводились при $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P=750\text{ мм р. с.}$

Расчет превышений содержания водорастворенного гелия в изученных пробах (ΔHe , % объемные) над атмосферным фоном поверхностных вод производился по формуле:

$$\Delta\text{He} = C * R * \Delta J,$$

где $C=0,000409\text{ \%}$ – цена деления индикатора ИНГЕМ (по газу); $R=0,0088$ – растворимость He в воде при 20 °С; ΔJ – приращение сигнала индикатора при анализе пробы.

Абсолютные содержания водорастворенного гелия (% об.) в пробах с учетом атмосферного фона рассчитаны по формуле:

$$\text{He}_{\text{абс.}} = \Delta\text{He} + 0,00052 * R,$$

где 0,00052 % об. – фоновое содержание гелия в атмосферном воздухе; $0,00052 * R = 0,000004576\text{ \% об.}$ – фоновое (атмосферное) содержание растворенного гелия в поверхностных водах.

Для выявления быстрого реагирования изменений гидрогеохимических характеристик на землетрясения нами проводился ежесуточный отбор проб воды в 10 часов утра на исследование следующих характеристик: температура, pH, Eh, общая минерализация, содержание гелия.

Измерение температуры, pH, Eh, общей минерализации производилось при помощи портативных приборов производства HANNA Instruments, которые были сертифицированы в гидрогеохимических лабораториях Томского политехнического университета и Института водных и экологических проблем СО РАН.

Сейсмический режим в период мониторинга

Сейсмический режим изучаемого периода времени характеризуется отсутствием сейсмических событий в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения (2003 г.) высокого уровня. Наиболее крупные землетрясения в Алтае-Саянском регионе происходили в это время в эпицентральной зоне Монгольского землетрясения (2021 г.).

Отмечалась небольшая активизация отдельных сейсмических событий на территории соседних с Алтаем регионов – Казахстанского, Монгольского Алтая, Западной Тывы (рис. 2).

На территории Казахстанского Алтая 21.01.21 г. произошло землетрясение с магнитудой $M=4,2$. Вполне возможно, что Монгольское землетрясение инициировало ряд мелких сейсмических событий на территории Алтае-Саянской области. Слабое землетрясение с магнитудой 2,7 (по данным оперативной обработки Алтае-Саянского филиала Геофизической службы РАН) было зафиксировано 01.02.21 г. на расстоянии порядка 40 км на северо-запад от точки мониторинга в Горно-Алтайске.

Крупные землетрясения с магнитудой $M=4,2$ произошли 11.02.21 и 15.02.21 на территории Западной части Монгольского Алтая, а 23.02.21 г. – с магнитудой 3,1.

Характеристика пунктов мониторинга

Пункт мониторинга 1. Государственный наблюдательный пункт мониторинга (ГОНС) в г. Горно-Алтайске находится по ул. Северной, 16, и представляет собой трубчатую колонку, забитую на глубину около 10 м. Колонкой каптируется совместный водоносный комплекс четвертичных отложений и водоносная зона венд-нижнекембрийских пород.

Вмещающие породы до глубины 10 м – делювиальные отложения, сложенные щебнистыми отломками терригенно-карбонатных пород, залегающие на сланцах, известняках и силицитах. По имеющимся геологическим разрезам водозаборных скважин в районе пункта ГОНС водоносная зона устанавливается до глубины 50 м. По геофизическим данным есть вероятность наличия ниже 50 м гранитоидного массива типа Белокурихинского.

В районе расположения ГОНС Северный в разные годы функционировали многочисленные гидрогеологические скважины, каптирующие аналогичный водоносный комплекс. Дебиты скважин варьировали от 1,3 до 20 л/с, статический уровень колебался от 1,1 до 12 м.

По химическому составу воды на колонке гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые пресные с общей минерализацией 0,2–0,8 г/л.



Рис. 2. Карта пунктов мониторинга и эпицентров землетрясений в период мониторинга

Fig. 2. Map of monitoring points and earthquake epicenters during the monitoring period

В результате крупного Чуйского землетрясения, произошедшего в 2003 г. в Чуйской межгорной впадине, изменился химический состав подземных вод как в целом по Республике Алтай, так и локально, и значимо на отдельных участках. Такие участки, как правило, приурочены к зонам тектонических нарушений. Одним из таких участков оказалась трубчатая колонка по ул. Северной. В изучаемом пункте мониторинга состояния вод устанавливаются существенные колебания химического состава и температуры вод. Сразу после землетрясения температура в колонке выросла до 48 °С, в настоящий момент она сохраняется на уровне 13–16 °С.

Как показали последующие исследования, химический состав вод в колонке за период наблюдений с 2004 по 2020 гг. весьма чутко реагирует как на малоамплитудные сейсмические события в эпицентральной части Чуйского (2003 г.) землетрясения, так и на сейсмические события в Алтае-Саянском регионе (на сопредельных территориях). Воды колонки можно рассматривать в качестве индикатора сейсмических событий [18].

Пункт мониторинга 2. Государственный наблюдательный пункт мониторинга (ГОНС) в с. Старый Бельтир Кош-Агачского района находится в долине р. Чаган-Узун, в правом борту реки.

Пунктом наблюдения является разведочно-эксплуатационная скважина Г22/79, пробуренная в 1979 г. для целей водоснабжения жителей села Бель-

тир. Скважина имеет глубину 200 м и каптирует среднедевонскую водоносную зону. Расход скважины 2,5 л/сек. Водовмещающими породами являются сланцы глинистые, метаморфизованные, трещиноватые. На скважине организован пункт ГОНС для наблюдения за режимом подземных вод в районе. Характеризуемая скважина одна из немногих наиболее приближенных к эпицентральной части Чуйского (Алтайского) землетрясения (находится в 11 км).

По химическому составу воды гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-магниево-натриевые пресные с общей минерализацией 0,37–0,42 г/л.

В результате Чуйского землетрясения, произошедшего в 2003 г. в Чуйской межгорной впадине, на скважине резко понизился уровень воды: при бурении скважины статический уровень вод устанавливался на 5 м, после землетрясения опустился на 9 м и в последние годы колебался на уровне 13,89–14,23 м.

Опробование воды в скважине осуществляется эпизодически, поэтому какие-либо существенные изменения в составе вод не устанавливаются. Можно отметить значимые колебания мутности (0,9–9,4 мг/дм³) в воде скважины. Этот показатель вод является индикатором сейсмичности.

В результате опробования, которое было проведено в 2014–2015 гг. в воде данной скважины зафиксированы повышенные значения содержания гелия (таблица).

Таблица. Химический состав подземных вод (мг/л), пунктов мониторинга

Table. Chemical composition of groundwater (mg/l), monitoring points

Пункт мониторинга Monitoring point	Горно-Алтайск Gorno-Altaysk	Старый Бельтир Stary Beltir
Тип водопункта Water point type	Колонка water column	скважина borehole
Возраст/Age	QIV	D2
He абс., % /He abs., %	0,00005	0,00048
*He (Ka)	1,2	105,3
pH	7,8	8,1
HCO ₃	227	233
Cl	35,25	26,5
SO ₄	37,5	53,2
Ca	131,4	41,3
Na	24	27,2
Mg	12,76	18,4
K	2,6	2,9
SiO ₂	10	3,6
Общая минерализация General mineralization	200–800	370–416

Примечание: *He (Ka) – контрастность превышения измеренного содержания гелия над атмосферным фоном.

Note: *He (Ka) – the contrast of the excess of the measured helium content over the atmospheric background.

Результаты исследования

Результаты проведенного мониторинга представлены на рис. 3, 4.

Динамика характеристик подземных вод в г. Горно-Алтайск.

В данном пункте мониторинга, где ранее не были выявлены высокие значения содержания гелия в подземных водах, не наблюдается и ярких изменений, гелий здесь находится на уровне 1–1,1 фона.

Наиболее сильно изменения наблюдаемых параметров пункта по ул. Северная отразились в динамике температуры, pH, Eh и минерализации. Нами было зафиксировано, что с 15.01.21 г. наблюдалось повышение температуры подземных вод с 13 до 15,8 °С, при этом показатель pH также скачкообразно увеличился с 7,15 (18.01.21 г.) до 7,6 (21.01.21 г.), показатель Eh также резко увеличился с 160 (14.01.21 г.) до 182 мВ (21.01.21 г.), общая минерализация также увеличилась с 0,67 до 0,75 г/л. Предположительно это резкое изменение изучаемых гидрогеохимических характеристик на данном пункте мониторинга связано с Хубсугульским землетрясением (12.01.2021 г.).

Таким образом, все регистрируемые обобщенные показатели состояния подземных вод в период времени, предшествующий землетрясению, отреагировали на подготовку и протекание сейсмических событий в Алтае-Саянском регионе, что позволяет подтвердить эффективность данной точки мониторинга подземных вод для сейсмических процессов территории Горного Алтая, что в очередной раз подтверждает наши предыдущие исследования [12, 14, 15, 18].

Динамика характеристик подземных вод в с. Старый Бельтир

По данным измеренных характеристик пункта мониторинга Старый Бельтир также похоже, что сейсмические процессы на территории Горного Алтая на оказывают существенного влияния на динамику изучаемых гидрогеохимических характеристик (рис. 4).

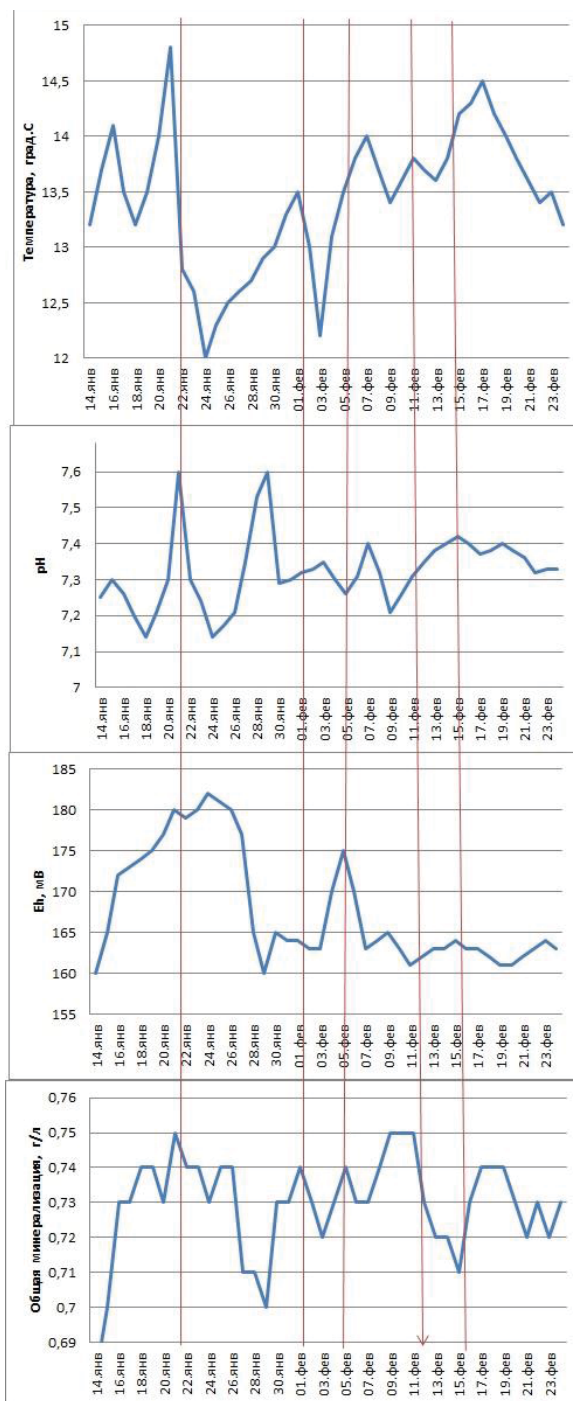


Рис. 3. Изменение характеристик подземных вод в пункте мониторинга Горно-Алтайск (выделены дни землетрясений)

Fig. 3. Changes in groundwater characteristics at the Gorno-Altaysk monitoring point (earthquake days are highlighted)

Так, 24.01.21 г. на границе Горного Алтая и Саян произошло сейсмическое событие с магнитудой 3. При этом значение pH повысилось в это день с 7,7 до 8,14, а Eh – до 155 мВ (это повышение продолжалось до 25.02.21 г.), также скачкообразно вырос уровень минерализации с 0,49 до 0,54 г/л. Данные характеристики синхронно снизились к 27–28.02.21 г.

Кроме того, 11.02.21 г. в Китайском Алтае (в 200 км от точки мониторинга) произошло землетрясение с магнитудой 4,2. На данное сейсмическое событие отреагировали подземные воды в пункте мониторинга – повысилась рН с 7,5 (07.02) до 8,05 (11.02), значения Eh выросло с 20 до 165 мВ.

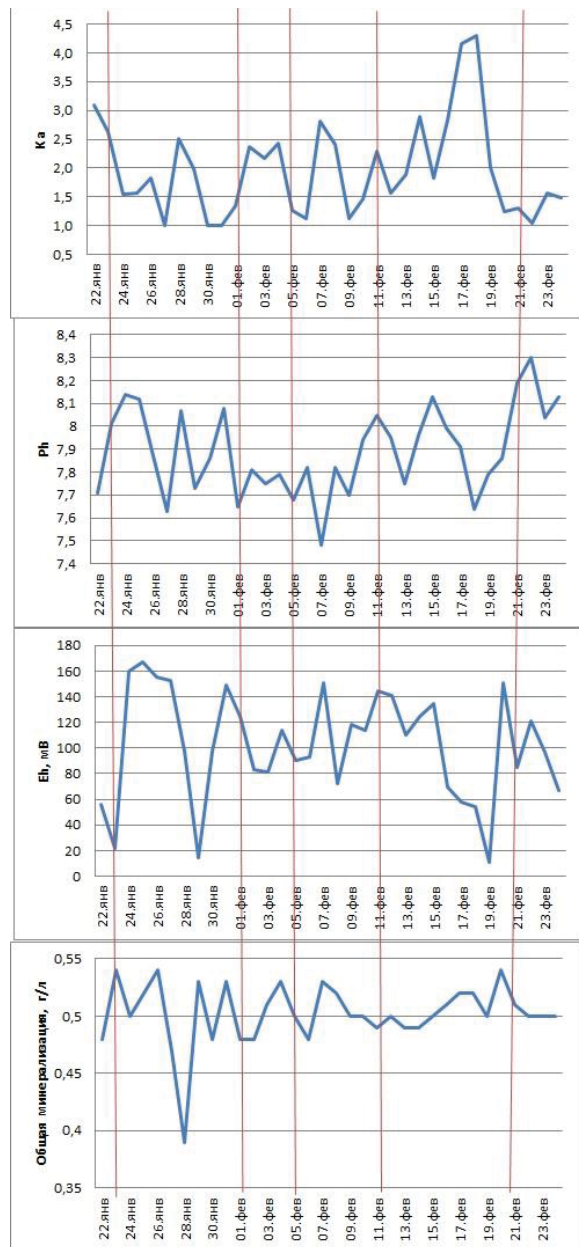


Рис. 4. Изменение характеристик подземных вод на пункте мониторинга Старый Бельтир

Fig. 4. Changes in groundwater characteristics at the Stary Beltir monitoring point

Также после землетрясений, произошедших 15.02 и 22.02.2021 в Монгольском Алтае (в 250 км от точки мониторинга) значение рН в подземных водах точки мониторинга повысилось с 6,5–7,5 до 7,7–8,13. На следующий день после землетрясения значения рН возвращались к фоновым значениям. Значения Eh в дни данных сейсмических событий также возрастали с 80 до 150 мВ.

Обсуждение результатов

Для поиска общих закономерностей измеряемых параметров подземных вод, которые могли измениться в результате подготовки и протеканий сейсмических событий, нами был использован метод наложенных эпох. Данный метод полезен, когда необходимо проследить влияние дискретных событий, таких как землетрясение, на измеряемые параметры и посмотреть, имеются ли общие закономерности относительно времени землетрясения, а также показать, существуют ли предвестники измеряемых характеристик.

Методика расчета производится следующим образом: каждый день сейсмического события принимается как нулевые сутки, в которые произошли землетрясения. Затем берутся данные во все дни землетрясения и рассчитывается среднее значение измеряемых величин (гелий, рН, Eh, температура, общая минерализация) как в этот нулевой день. При этом соответственно считалось, что –1 – –7 – дни перед землетрясением, 1–7 дни после землетрясения. Для них также рассчитывались соответствующие относительно момента землетрясения средние значения.

Эффективность данного метода при поиске общих закономерностей влияния землетрясений на параметры среды показана в ряде исследований [19, 20].

Горно-Алтайск

В данном пункте мониторинга день сейсмического события выделяется по всем изучаемым характеристикам (рис. 5): температура – 13,9; рН – 7,37; Eh – 168; минерализация – 0,735. Данная особенность, скорее всего, связана с расположением близ поверхности данного пункта мониторинга. Кроме этого, за 6–7 дней до землетрясения начинают изменяться все наблюдаемые характеристики: некоторые повышаются (температура, общая минерализация), некоторые начинают понижаться (рН, Eh). За 3–4 дня до землетрясения температура, минерализация, Eh понижаются. За 1–2 дня до сейсмического события опять начинают повышаться температура, общая минерализация. После землетрясения все показатели снижаются, и только на 4–5 день отдельные характеристики снова повышаются (температура, минерализация).

Старый Бельтир

На данном пункте мониторинга не зафиксировано четкого повышения значений измеряемых параметров в день землетрясения, что может быть связано с большой глубиной скважины (рис. 6). В то же время здесь зафиксировано существенное изменение регистрируемых параметров уже за 7–8 дней до землетрясения (гелий, рН, Eh, минерализация) и стремление к экстремумам за 3, 5 дней до землетрясения. Прослеживается синхронность динамики гелия, рН и направленность их с значениями Eh и общей минерализации. Необходимо отметить, что после землетрясения, на 2–3 день, наблюдается синхронный рост минерализации и содержания гелия в воде, что может быть связано с раскрытием трещин и разломов, произошедших в результате сейсмического события, и активным газовыделением из них.

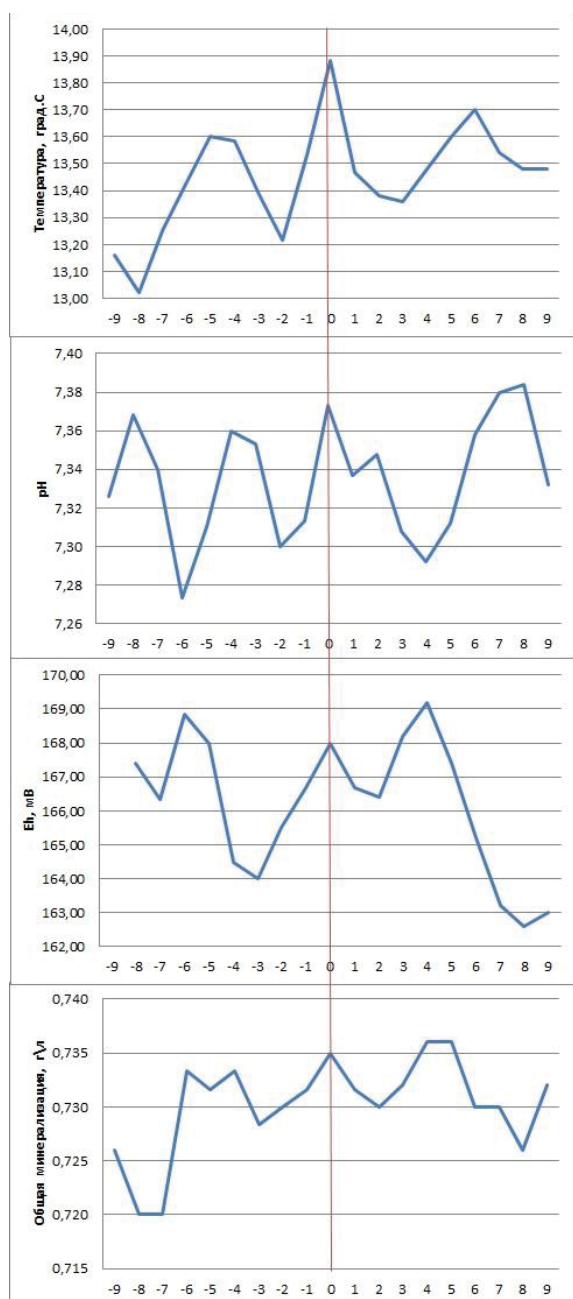


Рис. 5. Средние значения измеряемых параметров подземных вод относительно моментов землетрясений (0 – день землетрясения) в пункте мониторинга Горно-Алтайск

Fig. 5. Average values of the measured parameters of groundwater relative to the moments of earthquakes (0 – day of the earthquake) at the monitoring point Gorno-Altaiisk

Заключение

Детальное изучение динамики геохимических характеристик подземных вод является важным направлением современных исследований. Выявление особенностей изменения флюидных характеристик по дням мониторинга позволяет показать основные закономерности влияния на них землетрясений.

1. Впервые на территории Горного Алтая было проведено изучение динамики обобщенных геохимических показателей и содержания гелия в

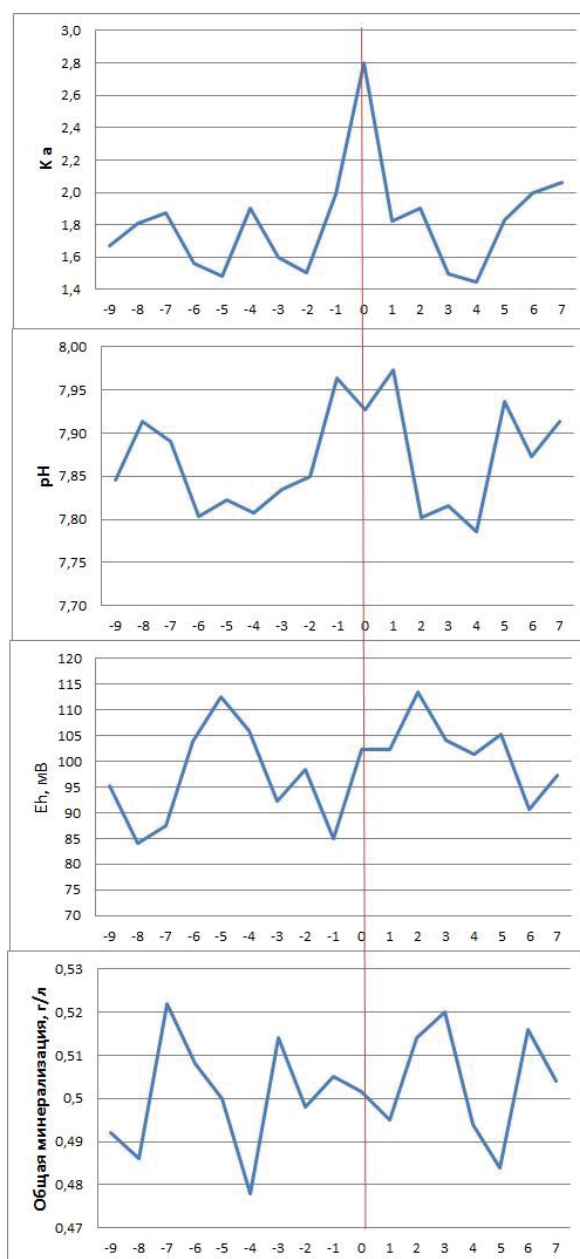


Рис. 6. Средние значения измеряемых параметров подземных вод относительно моментов землетрясений (0 – день землетрясения) в пункте мониторинга Старый Бельтир

Fig. 6. Average values of the measured parameters of groundwater relative to the moments of earthquakes (0 – day of the earthquake) in the monitoring point Stary Beltir

подземных водах и показаны их кратковременные (1–3 суток) изменения в связи с землетрясениями.

2. Показано, что пункт мониторинга Старый Бельтир, расположенный в разломной зоне вблизи эпицентральной зоны Чуйского землетрясения (2003 г.), характеризуется не только высокой чувствительностью к изменениям на землетрясения обобщенных геохимических характеристик подземных вод, но и высокой динамикой содержания гелия.

3. В результате исследования было выявлено, что Хубсугульское землетрясение (2021 г.) предположительно оказало влияние на гидрогеохимический состав пункта мониторинга Горно-Алтайск, где в момент основного толчка отмечено резкое изменение измеряемых характеристик (температуры, pH, Eh).
4. Выбранные пункты мониторинга в ряде случаев не перекрывают друг друга и реагируют в основ-

ном на ближайшие к ним землетрясения, в том числе и на слабые.

5. Наиболее динамичная реакция на землетрясения отмечена у гелия, pH, Eh, температуры. Ежесуточное изучение динамики гидрогеохимических характеристик позволяет выявить кратковременные изменения (1–3 суток) измеряемых показателей у обоих пунктов мониторинга относительно сейсмических событий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варганиян Г.С., Бредехофт Дж.Д., Роуэллофс Э. Гидрогеологические методы исследования тектонических напряжений // Советская геология. – 1991. – № 9. – С. 3–12.
2. İnan S., Akgu T., Cemil S. Geochemical monitoring in the Marmara region (NW Turkey): a search for precursors of seismic activity // J. of Geophysical Research. – 2008. – V. 113: B03401. URL: <https://doi.org/10.1029/2007JB005206> (дата обращения 15.08.2022).
3. Kissin I.G. Strain sensitivity in fluid-saturated media // J. of Volcanology and Seismology. – 2011. – V. 5 (3). – P. 179–189. DOI: 10.1134/S0742046311030055.
4. Immè G., Morelli D. Radon as earthquake precursor // Earthquake research and analysis – statistical studies, observations and planning / Ed. by S. D'Amico. – Rijeka: InTech, 2012. – P. 143–160. URL: <https://doi.org/10.5772/29917> (дата обращения 15.08.2022).
5. Фирстов П.П., Макаров Е.О., Глухова И.П. Особенности динамики подземного газа перед землетрясением в Жупаново M=7,2 30 января 2016 г., Камчатка // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 472. – С. 196–199. URL: <https://doi.org/10.1134/s1028334x17020015> (дата обращения 15.08.2022).
6. Non-parametric detection of atmospheric radon concentration anomalies related to earthquakes / D. Iwata, H. Nagahama, J. Muto, Y. Yasuoka // Scientific Reports. – 2018. – V. 8 (13028). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31341-5> (дата обращения 15.08.2022).
7. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Гидрогеосейсмологические исследования на Камчатке: 1977–2017 гг. // Вулканология и сейсмология. – 2019. – № 2. – С. 3–20.
8. Vartanyan G.S. The Global Endodrainage System: some fluid-physical mechanisms of geodynamic processes // Geodynamics & Tectonophysics. – 2019. – V. 10 (1). – P. 53–78. URL: <https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-1-0404> (дата обращения 15.08.2022).
9. Dissolved inert gases He, Ne and N₂ as markers of groundwater flow and degassing areas at Mt Etna volcano (Italy) / A. Paonita, M. Longo, S. Bellomo, W. D'Alessandro, L. Brusca // Chemical Geology. – 2016. – V. 443. – P. 10–21.
10. Шитов А.В. Об изменении влияния геологических факторов на здоровье населения при геодинамической активизации // Геофизические процессы и биосфера. – 2012. – Т. 11. – № 2. – С. 54–70.
11. Изменение химического состава подземных вод Республики Алтай при землетрясениях / А.В. Шитов, В.Е. Кац, Е.М. Дутова, В.А. Молоков, В.Д. Покровский // Известия Томского политехнического университета. – 2016. – Т. 327. – № 1. – С. 19–29.
12. Гидрогеохимические исследования в Южном Прибайкалье в связи с поисками предвестников землетрясений / Р.М. Семенов, П.С. Бадминов, М.Н. Лопатин, А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 2 (97). – С. 94–98.
13. Семенов Р.М., Лопатин М.Н., Чечельницкий В.В. Изучение концентраций растворенных гелия и радона в подземных водах Южного Прибайкалья в связи с сейсмическими процессами // Геодинамика и тектонофизика. – 2020. – Т. 11. – № 1. – С. 63–74. URL: <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-1-0463> (дата обращения 15.08.2022).
14. Гелий в подземных водах Республики Алтай / Е.М. Дутова, В.Е. Кац, А.В. Шитов, А.И. Сурнин, В.А. Молоков // Геодинамика и тектонофизика. – 2020. – Т. 11 (3). – С. 651–663. DOI: 10.5800/GT-2020-11-3-0497.
15. Кац В.Е., Шитов А.В., Драчев С.С. О механизмах изменения химического состава и температуры подземных вод в районе Горно-Алтайска // Геоэкология. – 2010. – № 3. – С. 207–212.
16. Яницкий И.Н. Гелиевая съемка. – М.: Недра, 1979. – 96 с.
17. Методические рекомендации по режимным наблюдениям за содержанием гелия во флюидах при геодинамических исследованиях и выявлении предвестников землетрясений / В.Н. Башорин, А.М. Галинский, И.В. Кучевская, А.И. Сальников, Т.В. Созинова, И.Н. Яницкий / под ред. А.Н. Еремеева. – М.: ВИМС, 1991. – 50 с.
18. Шитов А.В., Кац В.Е., Харьковина М.А. Эколого-геодинамическая оценка Чуйского землетрясения // Вестник Моск. ун-та. Сер. Геология. – 2008. – № 3. – С. 41–47.
19. Pulinets S., Boyarchuk K. Ionospheric precursors of earthquakes. – NY: Springer, 2004. – 289 p.
20. Физические основы генерации краткосрочных предвестников землетрясений. Комплексная модель геофизических процессов в системе литосфера–атмосфера–ионосфера–магнитосфера, инициируемых ионизацией / С.А. Пулинец, Д.П. Узунов, А.В. Карелин, Д.В. Давиденко // Геомагнетизм и аэрономия. – 2015. – Т. 55. – № 4. – С. 540–558.

Поступила 25.07.2022 г.

Прошла рецензирование 03.10.2022 г.

Информация об авторах

Дутова Е.М., доктор геолого-минералогических наук, профессор, отделение геологии, Инженерная школа природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет; профессор, кафедра природопользования, Геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет.

Кац В.Е., начальник отдела, Горно-Алтайское отделение «Сибирского регионального центра Государственного мониторинга состояния недр» ФГБУ «Гидроспецгеология».

Шитов А.В., кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры географии и природопользования, Естественно-географический факультет, Горно-Алтайский государственный университет.

Сурнин А.И., кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья.

Драчев С.С., аспирант, кафедра природопользования, Геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет.

UDC 55.504.624.131

RESULTS OF SHORT-TERM MONITORING OF HELIUM CONTENT AND GENERALIZED INDICATORS IN THE UNDERGROUND WATERS OF THE ALTAI MOUNTAINS

Ekaterina M. Dutova^{1,2},
dutova@tpu.ru

Valentina E. Kats³,
altai.geo@yandex.ru

Alexander V. Shitov⁴,
sav103@yandex.ru

Alexey I. Surnin⁵,
ogec@sniiggims.ru

Sergey S. Drachev²,
oldwolf07@yandex.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050. Russia.

² National Research Tomsk State University,
36, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

³ Gorno-Altai Branch of the «Siberian Regional Center for State Monitoring of the Subsoil State», «Hydrospetsgeology»,
52, Zavodskaya street, v. Maima, 649100, Russia.

⁴ Gorno-Altai State University,
7, Lenkin street, Gorno-Altai, 649000, Russia.

⁵ Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Raw Materials,
67, Krasny avenue, Novosibirsk, 630091, Russia.

The relevance of the work is caused by the need to improve the methods for monitoring the characteristics of groundwater and their changes in the seismically active regions of the Altai Republic. Groundwater is an indicator of seismic processes and they react to changes in the stress-strain state of rocks in the zones of foci of upcoming tectonic earthquakes.

The aim of the work is to identify short-term changes in the helium content and generalized hydrogeochemical indicators in the previously identified highly dynamic groundwater monitoring facilities of the Altai Republic in relation to the search for precursors of strong seismic events.

Research methods. The work is based on the results of daily monitoring of groundwater in the Altai Republic, which was carried out in January–March 2021 at two observation points for temperature conditions and the qualitative composition of groundwater – well and a column – of the Territorial Center «Altaigeomonitoring».

Results. For the first time on the territory of Gorny Altai, a study was made of the dynamics of generalized geochemical characteristics and helium content in groundwater and their short-term (1–3 days) changes due to earthquakes were shown. For this study, we used two groundwater observation points located in Gorno-Altai (street water fountain) and in the village Stary Beltir (borehole) distant from each other of more than 200 km. These monitoring points were chosen due to the fact that a significant change in the characteristics of groundwater was recorded there during the preparation and course of seismic events in the region. The work gives a characteristic of the seismic setting of the Altai-Sayan region during the monitoring period. To identify the dynamics of the helium content and generalized geochemical indicators of groundwater in the period of January 14–February 23, 2021, we carried out sampling. The sampling results showed that the monitoring point Stary Beltir, located in the fault zone near the epicentral zone of the Chuya earthquake (2003), is characterized by a high sensitivity to changes in both generalized groundwater characteristics and a high degree of helium content response to earthquakes. At the same time, the seismic events closest to them are reflected in the presented groundwater monitoring points. The chosen monitoring points in some cases do not overlap each other and react mainly to the nearest earthquakes, including weak ones. The most dynamic response to earthquakes was noted in helium, pH, Eh, and temperature.

Key words:

groundwater, groundwater monitoring, geochemical characteristics, helium, rupture zones, earthquakes.

REFERENCES

- Vartanyan G.S., Bredekhoft Dzh.D., Rouellofs E. Gidrogeologicheskie metody issledovaniya tektonicheskikh napryazheniy [Hydrogeological methods of studying tectonic stresses]. *Sovetskaya geologiya*, 1991, no. 9, pp. 3–12.
- Inan S., Akgu T., Cemil S. Geochemical monitoring in the Marmara region (NW Turkey): a search for precursors of seismic activity. *J. of Geophysical Research*, 2008, vol. 113, B03401. Available at: <https://doi.org/10.1029/2007JB005206> (accessed 15 August 2022).
- Kissin I.G. Strain sensitivity in fluid-saturated media. *J. of Volcanology and Seismology*, 2011, vol. 5 (3), pp.179–189. DOI: 10.1134/S0742046311030055.
- Imme G., Morelli D. Radon as earthquake precursor. *Earthquake research and analysis – statistical studies, observations and planning*. Ed. by S. D'Amico. Rijeka, InTech, 2012. pp. 143–160.

- Available at: <https://doi.org/10.5772/29917> (accessed 15 August 2022).
5. Firstov P.P., Makarov E.O., Glukhova I.P. Peculiarities of subsoil gas dynamics before the M = 7.2 Zhupanovo earthquake on January 30, 2016, Kamchatka. *Doklady Earth Sciences*, 2017, 472, pp. 196–199. Available at: <https://doi.org/10.1134/s1028334x17020015> (accessed 15 August 2022).
 6. Iwata D., Nagahama H., Muto J., Yasuoka Y. Non-parametric detection of atmospheric radon concentration anomalies related to earthquakes. *Scientific Reports*, 2018, (13028). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31341-5> (accessed 15 August 2022).
 7. Kopylova G.N., Boldina S.V. Hydrogeoseismological studies in Kamchatka: 1977–2017. *Volcanology and seismology*, 2019, no. 2, pp. 3–20. In Rus.
 8. Vartanyan G.S. The Global Endodrainage System: some fluid-physical mechanisms of geodynamic processes. *Geodynamics & Tectonophysics*, 2019, vol. 10 (1), pp. 53–78. Available at: <https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-1-0404> (accessed 15 August 2022).
 9. Paonita A., Longo M., Bellomo S., D'Alessandro W., Brusca L. Dissolved inert gases He, Ne and N₂ as markers of groundwater flow and degassing areas at Mt Etna volcano (Italy). *Chemical Geology*, 2016, vol. 443, pp. 10–21.
 10. Shitov A.V. Changes in the effect of geological factors on the health of the population during geodynamical activation. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2012, vol. 48, no. 8, pp. 859–870.
 11. Shitov A.V., Kats V.E., Dutova E.M., Molokov V.Y., Pokrovskiy V.D. Changes of chemical groundwater composition in the republic of Altai due to the earthquakes. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 1, pp. 19–29. In Rus.
 12. Semenov R.M., Badminov P.S., Lopatin M.N., Orgilianov A.I., Kryukova I.G. Hydrogeochemical studies in the Southern Baikal region in connection with the search for earthquake precursors. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2015, no. 2 (97), pp. 94–98. In Rus.
 13. Semenov R.M., Lopatin M.N., Chechelitsky V.V. The study of dissolved helium and radon concentrations in groundwaters of Southern Pribaikalie in connection with seismic processes. *Geodynamics & Tectonophysics*, 2020, vol. 11 (1), pp. 63–74. DOI: 10.5800/GT-2020-11-1-0463.
 14. Dutova E.M., Kats V.E., Shitov A.V., Surnin A.I., Molokov V.A. Helium in groundwaters of the Altai Republic. *Geodynamics & Tectonophysics*, 2020, vol. 11 (3), pp. 651–663. In Rus. DOI: 10.5800/GT-2020-11-3-0497.
 15. Kats V.E., Shitov A.V., Drachev S.S. On the mechanisms of changing the chemical composition and temperature of groundwater in the area of Gorno-Altaysk. *Geocology, engineering geology, hydrogeology, geocryology*, 2010, no. 3, pp. 207–212. In Rus.
 16. Yanitskiy I.N. *Gelievaya syemka* [Helium shooting]. Moscow, Nedra Publ., 1979. 96 p.
 17. Bashorin V.N., Galinskiy A.M., Kuchevskaya I.V., Salnikov A.I., Sozinova T.V., Yanitskiy I.N. *Metodicheskie rekomendatsii po rezhimnym nablyudeniym za sodержaniem geliya vo flyuidakh pri geodinamicheskikh issledovaniyakh i vyyavlenii predvestnikov zemletryaseniy* [Methodological recommendations on routine observations of helium content in fluids during geodynamic studies and detection of earthquake precursors]. Ed. by A.N. Ereemeeva. Moscow, VIMS Publ., 1991. 50 p.
 18. Shitov A.V., Kats V.E., Kharkina M.A. Ecological and geodynamic assessment of the Chuya earthquake. *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. Geologiya*, 2008, no. 3, pp. 41–47. In Rus.
 19. Pulinets S., Boyarchuk K. *Ionospheric precursors of earthquakes*. NY, Springer, 2004. 289 p.
 20. Pulinets S., Ouzounov D., Karelin A., Davidenko D. Physical bases of the generation of short-term earthquake precursors: a complex model of ionization-induced geophysical processes in the lithosphere–atmosphere–ionosphere–magnetosphere system. *Geomagn. Aeron.*, 2015, vol. 55 (4), pp. 540–558.

Received: 25 July 2022.

Reviewed: 3 October 2022.

Information about the authors

Ekaterina M. Dutova, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University; professor, National Research Tomsk State University.

Valentina E. Kats, head of department, Gorno-Altaysk Branch of the «Siberian Regional Center for State Monitoring of the Subsoil State», «Hydrospegeology».

Alexander V. Shitov, Cand. Sc., associate professor, Gorno-Altaysk State University.

Alexey I. Surnin, Cand. Sc., head of department, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Raw Materials.

Sergey S. Drachev, postgraduate student, National Research Tomsk State University.