

УДК 55.504.624.131

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

Шитов Александр Викторович,

кандидат геолого-минералогических наук, руководитель научно-исследовательской лаборатории картографирования природных условий и ресурсов Горно-Алтайского государственного университета, 649000, Республика Алтай, г. Горно-Алтайск, ул. Ленкина, 1.
E-mail: sav103@yandex.ru

Кац Валентина Елизаровна,

руководитель Территориального центра «Алтайгеомониторинг» ОАО «Геологическое предприятие «Алтай-Гео»», 649100, Республика Алтай, с. Майма, ул. Заводская, 52. E-mail: altaigeo@mail.gorny.ru

Дутова Екатерина Матвеевна,

доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: dutova@sibmail.com

Молоков Виктор Юрьевич,

старший лаборант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: vik3011347@yandex.ru

Покровский Виталий Дмитриевич,

ассистент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: pokrovskiy.v@gmail.com

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования методов прогноза землетрясений в сейсмоактивных районах Республики Алтай. Подземные воды являются индикатором сейсмических процессов, они реагируют на изменения напряженно-деформированного состояния горных пород в зонах очагов предстоящих тектонических землетрясений.

Цель работы: изучить и оценить влияние землетрясений и афтершокового процесса на характеристики подземных вод Республики Алтай в связи с поисками гидрогеологических предвестников землетрясений.

Методы исследований. В основу работы положены результаты мониторинга подземных вод на территории Республики Алтай, который осуществляется на локальном, территориальном и региональном уровнях. В работе использованы наблюдения Территориального Центра «Алтайгеомониторинг» за гидродинамическим (уровень, дебит), температурным режимами и качественным составом подземных вод. Пунктами наблюдений являются скважины и родники, а в отдаленных районах, ввиду отсутствия таковых, – колодцы.

Результаты. В результате мониторинговых исследований, производимых на территории Республики Алтай, зафиксировано изменение химического состава подземных вод, связанное с влиянием сейсмических событий. Рассмотрены изменения микроэлементного и макрокомпонентного состава подземных вод, произошедшие в результате Чуйского землетрясения и его афтершокового процесса. Проанализированы пространственные и временные характеристики подземных вод региона, особое внимание уделено анализу изменения химического состава и температуры точки мониторинга, расположенной в г. Горно-Алтайске по ул. Северной. Здесь после землетрясения в 2003 г. увеличилась температура воды, а химический состав начал существенно реагировать на землетрясения на территории Республики Алтай. Выявлено, что подготовка землетрясения, сопровождающаяся сложным комплексом изменений полей напряжения в земной коре, оказывает влияние на химический состав, режим и температуру подземных вод региона.

Ключевые слова:

Подземные воды, землетрясения, мониторинг подземных вод, гидрогеохимические характеристики, изменение уровня и дебита родников.

Введение

Алтае-Саянская складчатая область в целом характеризуются повышенной сейсмичностью, и с начала 2000-х гг. в регионе четко фиксируется активизация сейсмической деятельности. В 2003 г. в Республике Алтай произошло Алтайское (Чуйское) землетрясение с магнитудой 7,2, внесённое в список крупнейших мировых геологических событий 2003 г., а в 2011 г. в Республике Тыва – крупное Тувинское землетрясение с магнитудой 6,5 [1, 2]. Происходили и более мелкие землетрясения, их афтершоковый процесс, по мнению сейсмологов, продолжается и может длиться годы и десятилетия [2, 3].

Химический состав подземных вод, как известно, определяется ландшафтно-климатическими условиями, характером рельефа, типом водовмещающих пород и металлогеническими особенностями региона. Роль этих факторов для горно-складчатых сооружений в целом и структур Горного Алтая в частности достаточно внимательно изучена [1–3]. Не менее существенным фактором изменения химического состава подземных вод являются сейсмические события [4–15]. Эти процессы оказывают влияние на флюидный состав посредством изменений напряженно-деформированного состояния среды, что определяет состояние порово-трещинного пространства [5, 6]. При сейсмических событиях образуется большое количество новых трещин в породах, что создает пути для интенсивной миграции флюидов. Известно, что подземные воды на глубинах первых километров находятся под сверхгидростатическим или даже литостатическим давлением, подготовка особенно крупных землетрясений, само событие и афтершоковый процесс оказывают на характеристики подземных вод существенное влияние [7]. При этом по разломной сети региона осуществляется транспортировка флюидов к поверхности, таким образом изменяется химический состав более близкповерхностных подземных вод.

Цель данного исследования – показать влияние землетрясений и афтершокового процесса на характеристики подземных вод Республики Алтай.

Характеристика объекта и методика исследований

Республика Алтай в гидрогеологическом плане находится в пределах Алтае-Саянской сложной гидрогеологической области. Подземные воды приурочены к водоносным зонам и комплексам с трещинным, трещинно-жильным, трещинно-карстовым и карстовым типами коллектора в осадочных терригенных и карбонатных, осадочно-вулканогенных, вулканогенных, метаморфических и интрузивных породах, имеющих широкий, от мезозойского до протерозойского, возрастной диапазон. В межгорных артезианских бассейнах (Чуйский, Уймонский и др.) подземные воды сосредоточены в четвертичных, неогеновых и палеогеновых отложениях.

Мониторинг подземных вод на территории Республики Алтай осуществляется Территориальным центром «Алтайгеомониторинг», являющимся структурным подразделением ОАО «Алтай-Гео». Мониторинг ведется на объектном (локальном), территориальном и региональном уровнях. В результате наблюдений фиксируются гидродинамический (уровень, дебит), температурный режимы и качественный состав подземных вод. Замеры уровня воды в скважинах осуществлялись уровнемером KL 010 (Германия) либо УСК ТЭ 100 с точностью 1 см, температура замерялась электронным термометром (Щуп) с точностью измерения 0,5 °С.

Определение объемной активности радона в воде выполнялось в радиологической лаборатории ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Республике Алтай» прибором Гамма-01С № 55. Общий химический анализ и определение микроэлементов проводились в аналитической лаборатории СО РАН (Новосибирск).

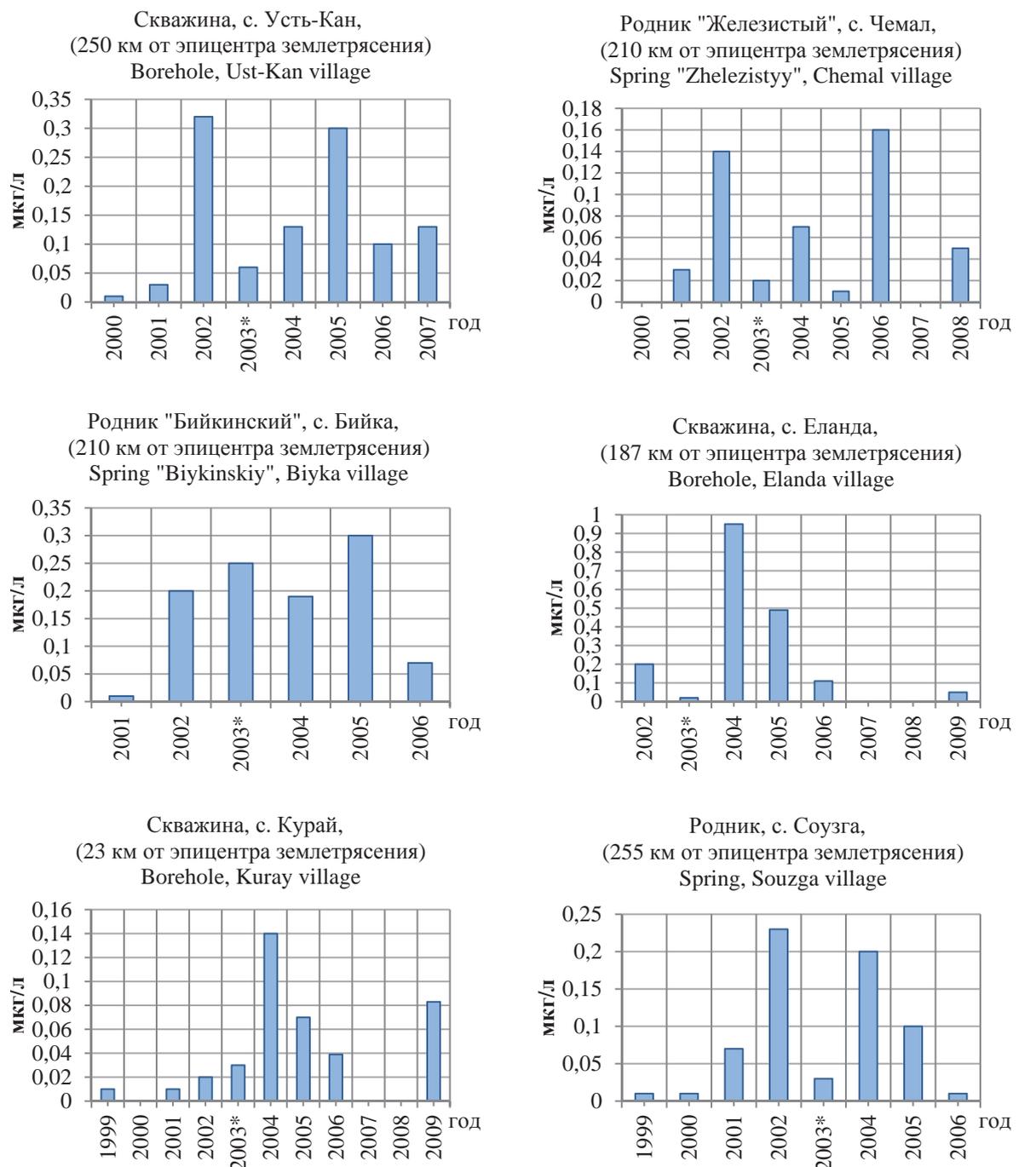
Результаты исследований

В периоды подготовки (форшоковый период), реализации основного события и афтершокового процесса Чуйского землетрясения гидродинамический режим и качественный состав подземных вод непрерывно изменялись [16, 17].

Химический состав подземных вод характеризуется сложными пространственно-временными изменениями минерализации, кислотно-щелочных условий, концентраций основных макро- и микрокомпонентов (фтор, ртуть, марганец, алюминий, литий и другие). Наиболее закономерные и сильные изменения концентраций среди 15 определяемых микрокомпонентов наблюдаются у ртути, которая в связи с этим может рассматриваться как гидрогеохимический индикатор региона. Хорошо выраженные, достигающие аномальных значений концентрации ртути зафиксированы в форшоковый период, сам же период разгрузки сейсмических напряжений характеризуется резким падением ее концентраций (рис. 1). Для последующего афтершокового периода характерно существенное поднятие концентраций, сопровождающее сейсмические события, и постепенное длительное их (концентраций) снижение.

Сейсмические события находят отражение и в газовом составе подземных вод. Содержание радона в подземных водах варьирует от 0,3 Бк/л до аномальных значений – 545 Бк/л, и в среднем составляет 22,8 Бк/л. Повышенные значения зафиксированы на фоне сейсмических событий, каждый аномальный пик зафиксирован незадолго до либо после землетрясения в Алтае-Саянском регионе (табл. 1, 2).

В афтершоковый период отмечается закономерное понижение объемной активности радона (табл. 2).



* Год основного толчка «Чуйского» землетрясения
 * Year of the main shock of the earthquake "Chuyskoe"

Рис. 1. Изменение содержания ртути в подземных водах

Fig. 1. Changes of mercury content in groundwater

Таблица 1. Аномальные значения содержания радона в подземных водах Республики Алтай**Table 1.** Anomalous values of radon content in groundwater of the Republic of Altai

Район Region	Геологический возраст Geological age	Концентрация радона, Бк/л Concentration of radon, Bq/l	Дата отбора пробы Date of sample collection	Дата землетрясения Date of earthquake
Усть-Канский Ust-Kansky	Є ₂₋₃ Cr	545	06.04.06	02–06.04.2006
Онгудайский Ongudaysky	D ₁₋₂ ong	104,6	10.07.06	05.07.2006
Майминский Maiminsky	V–Є ₁ es	373,8	20.12.06	15.12.2006
Чемальский Chemalsky	Є ₃ –O ₁ gr	161	26.03.08	29–30.03.08
Турочакский Turochaksky	Q _{III}	101	21.10.08	19.10.2008

Между содержанием радона в водах и средне-месячной энергией сейсмических событий установлена положительная значимая связь (коэффициент корреляции (R^2) 0,26 при 5% -м уровне значимости). Установлена четкая тенденция снижения концентраций радона, на фоне которой прослеживаются их всплески, они связываются нами с сейсмическими событиями на смежных, иногда достаточно удаленных, территориях (рис. 2).

В районе г. Горно-Алтайска 18 и 26 февраля 2004 г. были зафиксированы два подземных толчка с магнитудой 3,4 и 3,1. Эти четко выраженные сейсмические события сопровождалась аномальными изменениями в термическом режиме подземных вод: в ряде индивидуальных водоразборных колонок в г. Горно-Алтайске, а также в селах Ая и Каракочка было установлено повышение температуры.

Таблица 2. Сравнительная характеристика содержаний радона в подземных водах Республики Алтай за 2005–2015 гг.**Table 2.** Comparative analysis of radon content in groundwater of the Republic of Altai within 2005–2015

Годы наблюдений Years of monitoring	Количество проб с объемной активностью радона более ПДУ (60 Бк/л) Number of samples with volumetric activity of radon more than MAND (60 Bq/l)	Содержание радона в Бк/л Concentration of radon in Bq/l		
		Минимальные значения Minimum value	Максимальные значения Maximum value	Среднее Average
2005–2007	75	4	545	22,7
2008–2010	27	4	154	22,3
2011–2012	3	4	136	14,6
2013	–	1	44,6	11,2
2014	–	0,4	51,8	10,6
2015	–	0,3	31,6	9,9

Температура воды в колонке по ул. Северной в г. Горно-Алтайске достигала 39 °С (до 12 °С в настоящее время), в колонке по ул. Осипенко, находящейся в 1,5 км западнее, составляла от 16 до 24 °С, в с. Ая в индивидуальной колонке зафиксирована температура 30 °С. По устным сообщениям жителей, проживающих по ул. Осипенко, отмечено, что потепление вод в индивидуальных колонках происходило неоднократно, как в летний, так и в осенний и зимний периоды, но наиболее часто стало проявляться в годы, последующие сейсмическим событиям. Анализ геолого-геофизических и гидрогеологических материалов по району города и прилегающей территории позволяет предположить, что в его гидрогеологическом облике, вероятно, присутствуют термальные воды, аналогичные белокурихинским, как нами и было отмечено ранее [17]. В связи с этим с июня 2004 г. на территории Горно-Алтайска, на колонках по ул. Север-

**Рис. 2.** Связь содержаний радона в подземных водах с энергией сейсмических событий в Республике Алтай в 2011–2015 гг.**Fig. 2.** Connection between radon content in groundwater and the energy of the seismic events in the Republic of Altai within 2011–2015

ной, Осипенко и других, были организованы временные наблюдательные пункты за состоянием подземных вод и начаты мониторинговые исследования (наблюдения за уровнями, дебитом, температурой и химическим составом вод). Аналитические исследования проводились в химической лаборатории ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Республике Алтай».

Наиболее ярко изменения температурного режима вод проявились на колонке по ул. Северной, 16, в г. Горно-Алтайске, captирующей воды зоны трещиноватости терригенно-карбонатных пород венд-нижнекембрийского возраста, которые на определенных глубинах, как установлено одиночными скважинами при геологических работах, прорываются интрузиями гранитоидов. Исследо-

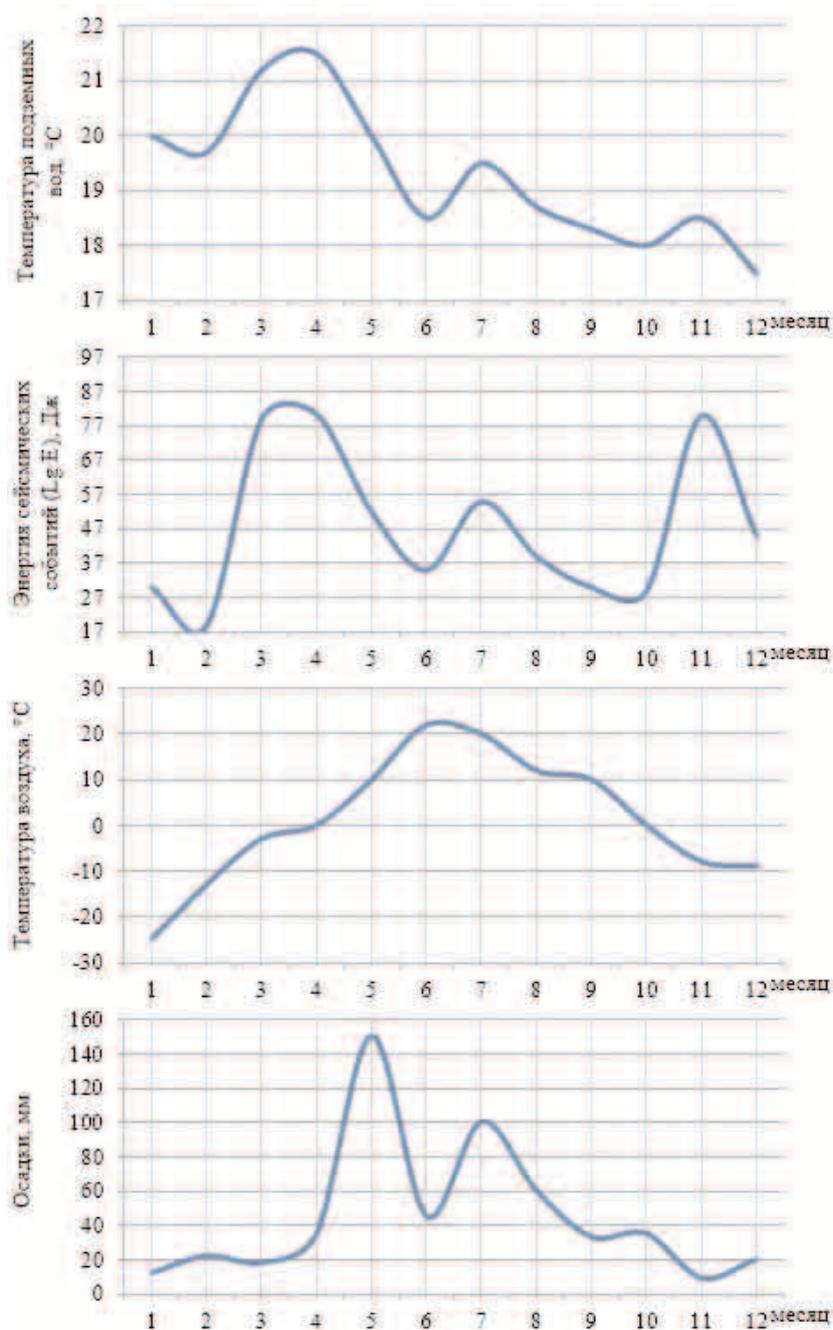


Рис. 3. Сопоставление внутригодовых изменений температуры подземных вод на колонке по ул. Северной с метеорологическими и сейсмическими данными в 2006 г.

Fig. 3. Comparison between groundwater temperature changes within a year in the stand-pipe on Severnaya Street and meteorological and seismic data in 2006

вания воды были начаты в июне 2004 г. в связи с заявлением владелицы колонки о повышении температуры воды до 39 °С, в то время как в предыдущие 48 лет вода в колонке была холодной со средней температурой 5–7 °С (данные РХЭЛ ГАГУ, ТЦ «Алтайгеомониторинг»).

Практически по центру города проходит шовная зона крупного сквозного надвига субмеридианального направления, которая хорошо интерпретируется по геофизическим данным и контролируется многочисленными тектоническими нарушениями, установленными при геологических съемках. Согласно карте новейших разломов, территория расположения колонки относится к зоне развития герцинских глубинных разломов с амплитудой перемещений до 500 м [16, 17]. Это обстоятельство в свете сейсмических событий дает основание предполагать, что появление подземных вод с повышенной температурой может быть связано с раскрытием тектонических трещин и поступлением глубинных термальных вод.

В пользу предположения, что воды, каптируемые колонкой, расположенной на ул. Северной, имеют глубинный характер, свидетельствуют результаты химических анализов, проведенных в Аналитическом центре СО РАН и Томском институте курортологии и физиотерапии. Анализами в составе воды установлено повышенное содержание кремния (до бальнеологических значений), лития, бора, фтора, тяжелых металлов, таких как свинец (до 1 ПДК), цинк (до 0,3 ПДК), кадмий (до 2 ПДК), ртуть (до 0,3 ПДК), мышьяк, никель. Кроме того, проведенными ранее исследованиями в водах колонок по ул. Северной и Осипенко выявлено повышенное содержание урана (до 0,0024 и 0,00048 г/дм³ соответственно). На существенное участие глубинных процессов в формировании теплового режима территории указывает и ряд косвенных признаков. В частности, температура почвы в копушах на усадьбе на глубине 30–40 см составляла 23–25 °С при температуре воздуха 7 °С (25.09.2004 г.), а температура воздуха в подполье дома в феврале достигала 20 °С, несмотря на сильные морозы предшествующего зимнего периода.

Вместе с тем, поскольку подземные воды эксплуатируемого водоносного горизонта относятся к верхней трещиноватой зоне консолидированных пород, имеют безнапорный характер и в принципе слабо защищены от внешнего воздействия, на их формирование, без сомнения, существенное влияние оказывают метеорологические факторы.

Для выявления возможного влияния их характеристик в течение года нами было произведено сравнение температуры в колонке по ул. Северной, сейсмических событий в Республике Алтай и метеорологических характеристик (температуры воздуха, количества осадков) (рис. 3). При этом было выявлено, что температура в колонке имеет некоторую согласованность с сейсмической энергией землетрясений в регионе и почти не связана с метеорологическими характеристиками.

Гидродинамический режим подземных вод на территории г. Горно-Алтайска в рассматриваемый период изучался в скважинах, родниках и колодцах. Изменения урвненной поверхности в целом увязываются с сезонными колебаниями. В то же время в отдельные дни на наблюдательных пунктах зафиксирован подъем уровня воды в скважинах, увеличение дебита родников, сопровождающиеся изменениями величины рН и температуры вод в пределах 13–14 °С при фоновой температуре подземных вод региона 7–9 °С. Эти явления, на наш взгляд, свидетельствуют о сейсмических толчках небольшой магнитуды.

Сопоставление температуры подземных вод и количества осадков выявило наличие слабой связи характеристик воды в колонке с сезонными колебаниями метеорологических параметров ($R=0,3$, при уровне достоверности $<0,05 R_{кр}=0,23$). В то же время коэффициент корреляции с энергетическим классом землетрясений составляет 0,5, при уровне достоверности $<0,05 R_{кр}=0,23$, что может свидетельствовать о значимом влиянии сейсмических событий на качество вод.

Как показали исследования, химический состав воды в колонке за период наблюдений с 2004 по 2010 г. весьма чутко реагирует на все малоамплитудные сейсмические события как в эпицентральной части землетрясения, так и на сопредельных территориях Алтае-Саянского горного региона. Воды колонки можно рассматривать в качестве индикатора сейсмических событий (рис. 4, 5), причем наиболее интенсивное реагирование химического состава подземных вод наступает спустя 1–2 недели после сейсмического события.

Анализ СВАН-диаграмм показал следующие закономерности (рис. 4, 5). В периодизации землетрясений присутствуют двухгодовой, полугодовой, четырехмесячный, сорокадневный ритмы. За период наблюдения эти ритмы наименее сильно проявляются с конца 2005 до середины 2006 г. Химический состав подземных вод за наблюдаемый период меняется существенно. В динамике показателя рН наблюдаются следующие ритмы: двухгодовой, годовой, трехмесячный; в содержании Ca^{2+} : двухгодовой, пятимесячный, трехмесячный; в содержании NO_3^- : двухгодовой, пятимесячный; в содержании SO_4^{2-} : двухгодовой, годовой, четырехмесячный, трехмесячный. В целом необходимо отметить, что периодизация катионно-анионного состава подземных вод, а также изменение этой периодизации совпадает с подобными характеристиками $lg E$, что может свидетельствовать о влиянии сейсмических событий на химический состав вод изучаемого объекта.

Также необходимо отметить, что состав подземных вод за изучаемый период в связи с землетрясениями на Алтае и Саянах изменяется по-разному. Так, показатель рН наиболее сильно прореагировал на землетрясения на Алтае в период с 2004 по 2006 г., а анионно-катионный состав изучаемых подземных вод – на землетрясения в Саянах.

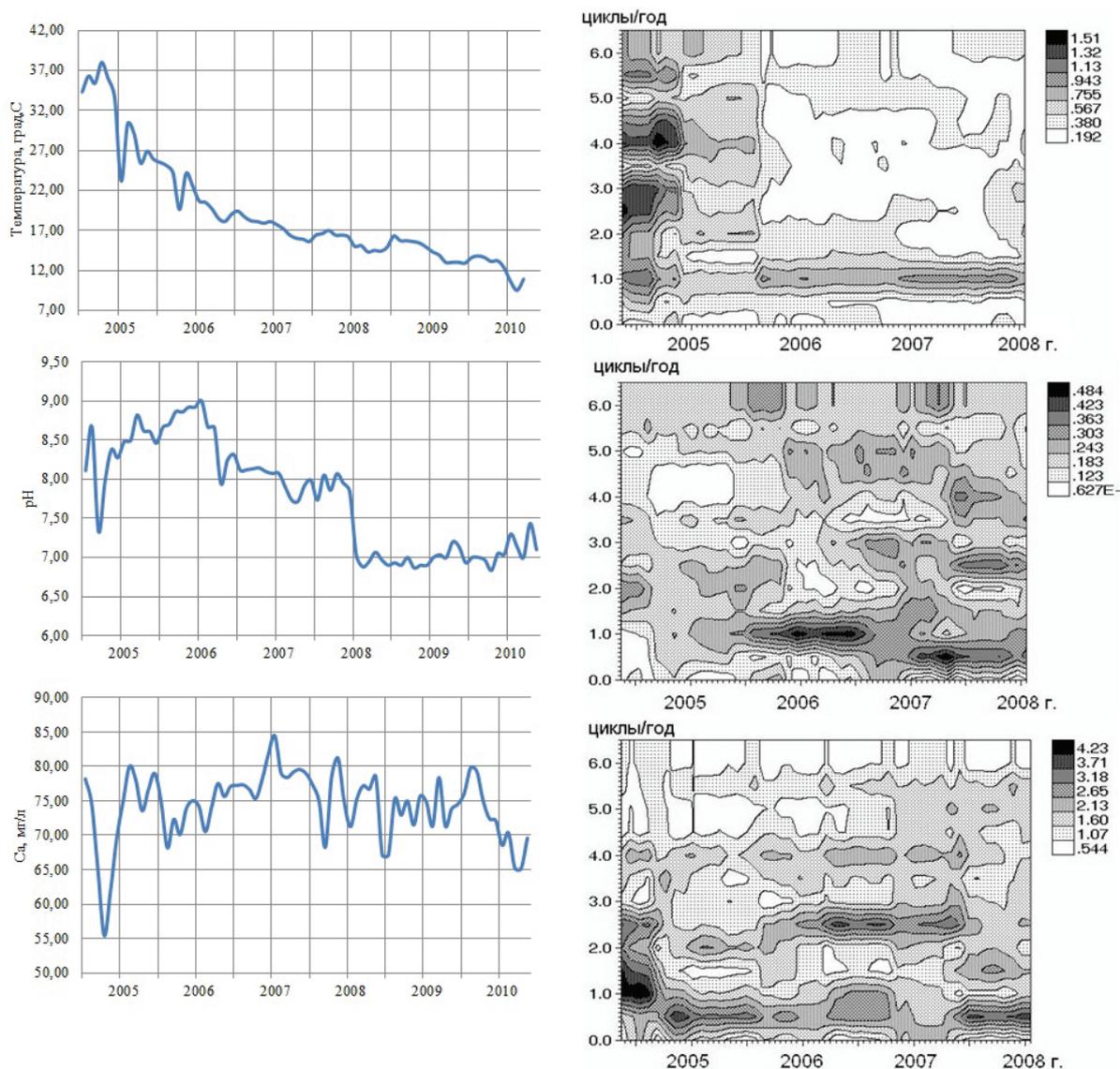


Рис. 4. Изменение температуры и химического состава подземных вод в связи с землетрясениями (на примере колонки по ул. Северной, 16) в сопоставлении с периодограммами спектральной плотности

Fig. 4. Changes of groundwater temperature and chemical composition due to the earthquakes (using the stand-pipe on Severnaya Street, 16 as an example) versus periodograms of spectral intensity

В результате тектонических подвижек во время сейсмических толчков напор термальных вод по отдельным трещинам увеличивался, поднялся их уровень. Это привело к смешению термальных вод зоны трещиноватости палеозойских пород с водами четвертичных отложений и некоторому повышению температуры последних.

На рис. 4, 5 отражены вариации показателей качества вод за период 2004–2010 гг. Как видно, химический состав вод в колонке по ул. Северной характеризуется нестабильностью содержания анализируемых показателей. Графики концентраций катионов и анионов в водах колонки за прошедший период пилообразные. Особенно это характерно для азотистых соединений, которые вы-

деляются многочисленными короткоживущими аномальными всплесками и зачастую не коррелируются с другими показателями.

Одна из причин такой динамики азотистых соединений может быть связана с химическими реакциями, происходящими вследствие сейсмических процессов. При этом в условиях повышенной температуры может происходить быстрое образование и распад различных азотистых соединений.

Кроме этого, выявлено наличие средней степени связи между сезонным количеством осадков и количеством нитратов в подземных водах (коэффициент корреляции 0,51 при $p=0,001$, $r_{кр}=-0,18$) изучаемой колонки по ул. Северной, что может быть связано с сезонными условиями попадания нитратов в подземные воды.

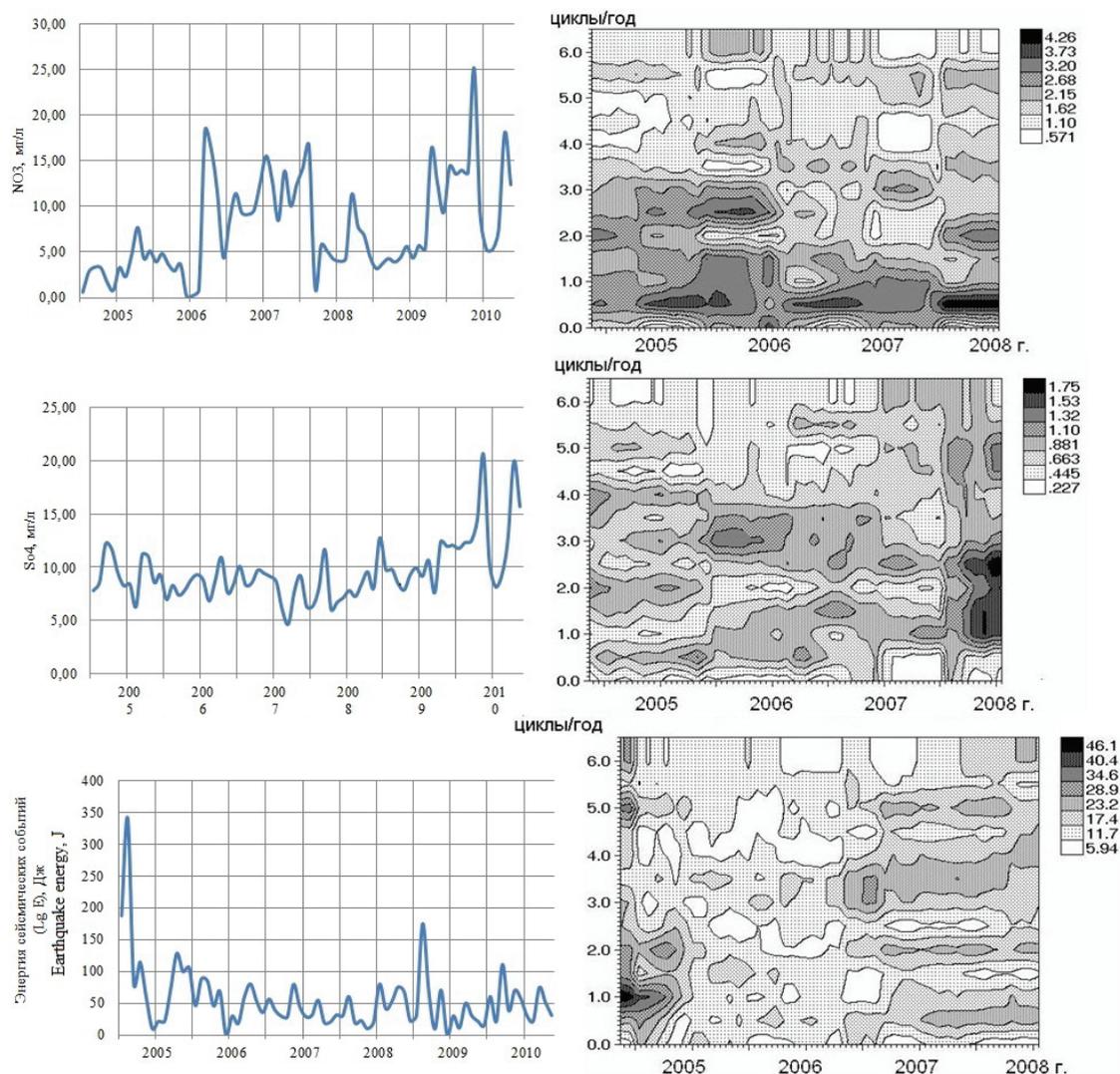


Рис. 5. Изменение химического состава подземных вод в связи с землетрясениями (на примере колонки по ул. Северной, 16)

Fig. 5. Changes of chemical groundwater composition due to the earthquakes (using the stand-pipe on Severnaya Street, 16 as an example)

Основные выводы

Таким образом, в результате изучения влияния сейсмических процессов на гидрогеологические характеристики были получены следующие результаты:

1. Вследствие Чуйского землетрясения и афтершоковых сейсмических событий, продолжающихся на Алтае до настоящего времени, прослеживается влияние их на гидродинамический режим и качественный состав подземных вод (микроэлементные и макрокомпонентные показатели). Колебания показателей режима и качества вод носят как региональный, так и локальный характер, что увязывается с малоамплитудными сейсмическими событиями (их магнитудой, глубиной эпицентра, гидрогеологической ситуацией). Аномальные значения индикаторных (косейсмических) показателей химического состава подземных вод (азотистые соединения, фтор, кремний, радон) прослежи-

ваются 1–2 недели, после чего фоновый состав вод восстанавливается.

2. Одним из дополнительных режимобразующих факторов состояния подземных вод в Горном Алтае в последние годы и до настоящего времени являются сейсмические события в Алтае-Саянском регионе.
3. В результате продолжающихся сейсмических событий изменяется гидродинамический режим подземных вод и их качественный состав. Данные характеристики могут быть использованы для прогнозных оценок сейсмической активности Алтая.

Подготовка землетрясения, сопровождающаяся сложным комплексом изменений полей напряжения в земной коре, оказывает влияние на химический и газовый состав, а также на режим и температуру подземных вод региона.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 13-05-98072 р-Сибирь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чуйское землетрясение и его афтершоки / С.В. Гольдин, В.С. Селезнев, А.Ф. Еманов, А.Г. Филина, Ю.И. Колесников, А.В. Фатеев, Е.В. Лескова, М.А. Ярыгина // Доклады Академии наук (Геофизика). – 2004. – Т. 395. – № 4. – С. 61–67.
2. Чуйское землетрясение и его афтершоковый процесс в структуре сейсмичности Алтае-Саянской горной области / А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, А.Г. Филина, Е.В. Лескова // Труды VI Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию. – Сочи, 2005. – С. 49–64.
3. Чуйское землетрясение и динамика сейсмической активизации эпицентральной области / А.Ф. Еманов, С.В. Селезнев, С.В. Гольдин, А.А. Еманов, А.Г. Филина, Ю.И. Колесников, А.В. Фатеев, Е.В. Лескова, М.А. Ярыгина // Труды научно-практической конференции. – Горно-Алтайск, 2004. – С. 3–14.
4. Вартамян Г.С., Бредехофт Дж.Д., Роуэллофс С. Гидрогеологические методы исследования тектонических напряжений // Советская геология. – 1991. – № 9. – С. 3–12.
5. Гидрогеодинамические предвестники землетрясений. – М.: ИФЗ АН СССР, 1984. – 212 с.
6. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре. Геофизический и тектонический аспекты. – М.: Наука, 2009. – 329 с.
7. Киссин И.Г. Землетрясение и подземные воды. – М.: Наука, 1982. – 174 с.
8. Thomas D. Geochemical precursor to seismic activity // Pure Appl. Geophys. – 1988. – V. 126. – № 2–4. – P. 241–266.
9. Wakita H., Nakamura Y., Sano Y. Short-term and intermediate-term geochemical precursors // Pure Appl. Geophys. – 1988. – V. 126. – № 2–4. – P. 267–278.
10. Киссин И.Г. Новые данные о «чувствительных зонах» земной коры и формирование предвестников землетрясений и постсейсмических эффектов // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48. – № 5. – С. 548–565.
11. Вартамян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли // Доклады АН СССР. – 1982. – Т. 262. – № 2. – С. 310–314.
12. Geochemical variations during the 2012 Emilia seismic sequence / A. Sciarra, B. Cantucci, G. Galli, D. Cinti, L. Pizzino // Geophysical Research Abstracts. – 2015. – V. 17. – P. 945–950.
13. Subduction and slab tearing dynamics constrained by thermal anomalies in the Anatolia-Aegean region / V. Roche, L. Guillou-Frottier, L. Jolivet, Ch. Loiselet, V. Bouchot // Geophysical Research Abstracts. – 2015. – V. 17. – P. 654–660.
14. Kopylova G.N., Boldina S.V. The response of water level in the YuZ-5 well, Kamchatka to the magnitude 9.3, Sumatra-Andaman earthquake of December 26, 2004 // Journal of Volcanology and Seismology. – 2007. – V. 1. – № 5. – P. 319–327.
15. Kopylova G.N., Taranova L.N. Synchronization signals in the variations of groundwater chemical composition in Kamchatka in relation to the strong ($\mu w \geq 6.6$) earthquakes // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. – 2013. – V. 49. – № 4. – P. 577–586.
16. Шитов А.В., Кац В.Е., Харьковина М.А. Эколого-геодинамическая оценка Чуйского землетрясения // Вестник Моск. ун-та. Серия «Геология». – 2008. – № 3. – С. 41–47.
17. Кац В.Е., Шитов А.В., Драчев С.С. О механизмах изменения химического состава и температуры подземных вод в районе Горно-Алтайска // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2010. – № 3. – С. 207–212.
18. Дутова Е.М. Высотная гидрогеохимическая зональность Алтае-Саянской складчатой области // Труды Всероссийской конференции «Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири». – Томск, 2003. – С. 65–69.
19. Дутова Е.М. Особенности формирования гидрогеохимического фона рассеянных элементов в условиях гумидного климата // Материалы регион. конф. – Томск, 2000. – Т. 1. – С. 369–372.
20. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода / С.Л. Шварцев, Б.Н. Рыженко, В.А. Алексеев, Е.М. Дутова, И.А. Кондратьева, Ю.Г. Копылова, О.Е. Лепокурова // Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза. – Новосибирск, 2007. – Т. 2. – 389 с.

Поступила 19.10.2015 г.

UDC 55.504.624.131

CHANGES OF CHEMICAL GROUNDWATER COMPOSITION IN THE REPUBLIC OF ALTAI DUE TO THE EARTHQUAKES

Alexander V. Shitov,

Gorno-Altai State University, 1, Lenkin Street, Gorno-Altai, 649000, Russia. E-mail: sav103@yandex.ru

Valentina E. Kats,

OJSC «Geological Enterprise «Altay-Geo»», 52, Zavodskaya Street, Maima, 649100, Russia. E-mail: altaigeo@mail.gorny.ru

Ekaterina M. Dutova,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: dutova@sibmail.com

Viktor Yu. Molokov,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: vik3011347@yandex.ru

Vitaly D. Pokrovskiy,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: pokrovskiy.v@gmail.com

The relevance of the study is caused by the need to improve the methods of forecasting the earthquakes in seismically active regions of the Republic of Altai. Groundwater is an indicator of seismic processes and responds to the changes of the stress-strain state of earth material within the zones of forthcoming tectonic earthquakes sources.

The main aim of the study is to examine and assess the impact of the earthquakes and aftershocks on the peculiarities of the groundwater of the Republic of Altai in order to find the hydrogeological premonitory symptoms of the earthquakes.

The methods used in the study: the study is based on the results of the groundwater monitoring within the Republic of Altai, which is carried out at local, territorial and regional levels. Hydrodynamic (level, discharge), temperature conditions and qualitative composition of groundwater are observed by the Territorial Center «Altaigeomonitoring». The observation points relate to interstices and springs and in the absence thereof within remote areas – to wells.

The results. As a result of the monitoring studies carried out within the Republic of Altai the changes of the chemical groundwater composition caused by the impact of seismic events were revealed. The changes of microelement and macrocomponent groundwater composition due to the Chuya earthquake and its aftershocks were studied. The spatial and temporal characteristics of groundwater in the region are analyzed. Special attention is given to the analysis of the changes of the chemical composition and temperature within observation point located on the Severnaya Street in Gorno-Altai. After the earthquake in 2003 the water temperature here increased and the chemical composition started to respond markedly to the earthquakes within the Republic of Altai. Thus, the preparation of an earthquake accompanied by a complex set of changes of stress fields in the Earth's crust influences the chemical composition, conditions and temperature of the groundwater within the region.

Key words:

Groundwater, earthquakes, groundwater monitoring, hydrogeochemical composition, changes of level regime and discharge of springs.

The research was supported by RFBR grant No. 13–05–98072 r-Siberia.

REFERENCES

1. Goldin S.V., Seleznev V.S., Emanov A.F., Filina A.G., Kolesnikov Yu.I., Fateev A.V., Leskova E.V., Yarygina M.A. Chuyskoe zemletryasenie i ego aftershoki [Chuy earthquake and its aftershocks]. *Doklady akademii nauk (Geofizika)*, 2004, vol. 395, no. 4, pp. 61–67.
2. Emanov A.F., Emanov A.A., Filina A.G., Leskova E.V. Chuyskoe zemletryasenie i ego aftershokovyy protsess v strukture seysmichnosti Altae-Sayanskoy gornoy oblasti [Chuya earthquake and its aftershock process within the structure of seismicity of the Altai-Sayan mountains]. *Trudy VI Rossiyskoy natsionalnoy konferentsii po seysmostoykomu stroitelstvu i seysmicheskomu rayonirovaniyu* [Proc. 6th Rus. Nat. Conf. on Earthquake Engin. and Seismic Zonation]. Sochi, 2005. pp. 49–64.
3. Emanov A.F., Seleznev S.V., Goldin S.V., Emanov A.A., Filina A.G., Kolesnikov Yu.I., Fateev A.V., Leskova E.V., Yarygina M.A. Chuyskoe zemletryasenie i dinamika seysmicheskoy aktivizatsii epitsentralnoy oblasti [Chuya earthquake and dynamic of seismic activation of the epicentral area]. *Trudy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proc. Scien.-Prac. Conf.]. Gorno-Altai, 2004. pp. 3–14.
4. Vartanyan G.S., Bredekhof J.D., Rouellofs S. Hidrogeologicheskie metody issledovaniya tektonicheskikh napryazheniy [Hydrogeological methods of tectonic stress research]. *Soviet Geology*, 1991, no. 9, pp. 3–12.
5. *Gidrogeodinamicheskie predvestniki zemletryaseniy* [Hydrogeodynamic earthquake precursors]. Moscow, IPE RAS USSR Press, 1984. 212 p.

6. Kissin I.G. *Flyuidy v zemnoy kore. Geofizicheskiy i tektonicheskiy aspekty* [Well fluid in the crust. Geophysical and tectonic aspects]. Moscow, Nauka Publ., 2009. 329 p.
7. Kissin I.G. *Zemletryasenie i podzemnye vody* [Earthquake and groundwater]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 174 p.
8. Thomas D. Geochemical precursor to seismic activity. *Pure Appl. Geophys.*, 1988, vol. 126, no. 2–4, pp. 241–266.
9. Wakita H., Nakamura Y., Sano Y. Short-term and intermediate-term geochemical precursors. *Pure Appl. Geophys.*, 1988, vol. 126, no. 2–4, pp. 267–278.
10. Kissin I.G. Novye dannye o «chuvstvitelnykh zonakh» zemnoy kory i formirovanie predvestnikov zemletryaseniya i postseismicheskikh effektov [Recent data on «sensitive area» of the Earth's crust and formation of earthquake precursors and post-seismic effects]. *Geology and Geophysics*, 2007, vol. 48, no. 5, pp. 548–565.
11. Vartanyan G.S., Kulikov G.V. Hidrogeodeformatsionnoe pole Zemli [Hydrogeodeformational Earth's field]. *Proceedings of AS USSR*, 1982, vol. 262, no. 2, pp. 310–314.
12. Sciarra A., Cantucci B., Galli G., Cinti D., Pizzino L. Geochemical variations during the 2012 Emilia seismic sequence. *Geophysical Research Abstracts*, 2005, vol. 17, pp. 945–950.
13. Roche V., Guillou-Frottier L., Jolivet L., Loiselet Ch., Bouchot V. Subduction and slab tearing dynamics constrained by thermal anomalies in the Anatolia-Aegean region. *Geophysical Research Abstracts*, 2015, vol. 17, pp. 654–660.
14. Kopylova G.N., Boldina S.V. The response of water level in the yuz-5 well, Kamchatka to the magnitude 9.3, sumatra-andaman earthquake of December 26, 2004. *Journal of Volcanology and Seismology*, 2007, vol. 1, no. 5, pp. 319–327.
15. Kopylova G.N., Taranova L.N. Synchronization signals in the variations of groundwater chemical composition in Kamchatka in relation to the strong ($\mu w \geq 6.6$) earthquakes. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 2013, vol. 49, no. 4, pp. 577–586.
16. Shitov A.V., Kats V.E., Kharkina M.A. Ekologo-geodinamicheskaya otsenka Chuyskogo zemletryaseniya [Ecological and geodynamic assessment of Chuya earthquake]. *Bulletin of Moscow University. Geology series*, 2008, no. 3, pp. 41–47.
17. Kats V.E., Shitov A.V., Drachev S.S. O mekhanizmax izmeneniya khimicheskogo sostava i temperatury podzemnykh vod v rayone Gorno-Altayska [On ways of changes of groundwater chemical composition and temperature within Gorno-Altai]. *Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology*, 2010, no. 3, pp. 207–212.
18. Dutova E.M. Vysotnaya gidrogeokhimicheskaya zonalnost Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti [Altitude hydrogeochemical zonation of Altai-Sayan fold area]. *Trudy Vserossiyskoy konferentsii «Problemy poiskovoy i ekologicheskoy geokhimii Sibiri»* [Proc. Rus. Hydrogeochemical Conf. Problems of exploratory and ecological geochemistry of Siberia]. Tomsk, 2003. pp. 65–69.
19. Dutova E.M. Osobennosti formirovaniya gidrogeokhimicheskogo fona rasseyannykh elementov v usloviyakh gumidnogo klimata [Peculiarities of hydrogeochemical ground formation of trace elements under the conditions of humid climate]. *Materialy regionalnoy konferentsii* [Proc. of the regional conference]. Tomsk, 2000, vol. 1. pp. 369–372.
20. Shvartsev S.L., Ryzhenko B.N., Alekseev V.A., Dutova E.M., Kondrateva I.A., Kopylova Yu.G., Lepokurova O.E. *Geologicheskaya evolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy voda-poroda*. Novosibirsk, 2007. 389 p.

Received: 19 October 2015.