

УРАН В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙВ.Е. Кац¹, Е.М. Дутова², В.В. Ролдугин¹, О.О. Вторушина¹,¹ТЦ “Алтайгеомониторинг” Открытое акционерное общество геологическое предприятие “Алтай-Гео”,
с. Майма, Республика Алтай, Россия, altaigeo@mail.gorny.ru²Томский политехнический университет, Томск, Россия, dutova@tpu.ru**URANIUM IN UNDERGROUND WATERS OF THE ALTAI REPUBLIC**V.E. Kaz¹, E.M. Dutova², V.V. Roldugin¹, O.O. Vtorushina¹¹Geological Enterprise “Altay-Geo” s. Mayma, Russia²Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Приводится анализ материалов мониторинговых работ по результатам определений урана в подземных водах Республики Алтай, предполагается, что его повышенные концентрации в современный период, возможно, связаны с влиянием Алтайского (Чуйского) и Тувинского землетрясений в Алтае-Саянском регионе.

According to the results of determination of uranium in underground waters of the Altai Republic, the analysis of materials of monitoring activities. It is assumed that its elevated concentrations in the modern period, possibly related to the influence of the Altai (Chuya), and the Tuva earthquakes in the Altai-Sayan region.

Химический состав подземных вод Республики Алтай достаточно внимательно изучался при решении различных прикладных задач [1–7, 15, 16]. Проанализированы пространственные и временные характеристики подземных вод региона. Рассмотрены изменения микроэлементного и макрокомпонентного состава, произошедшие в результате Чуйского землетрясения и его афтершокового процесса. Цель данного исследования показать особенности распределения в подземных водах весьма важного в экологическом отношении элемента урана.

Подземные воды республики приурочены к водоносным зонам и комплексам с трещинными, трещинно-жильными, трещинно-карстовыми скоплениями вод в терригенных, карбонатных, осадочно-вулканогенных, метаморфических и интрузивных породах разнообразного состава и широкого возрастного диапазона – от мезозойского до протерозойского возраста. В межгорных артезианских бассейнах (Чуйский, Уймонский и др.) подземные воды локализуются в четвертичных, неогеновых и палеогеновых отложениях. Значительное количество подземных вод извлекается в населенных пунктах республики из водоносных комплексов четвертичных отложений разного генезиса.

Согласно гидрогеологическому районированию, Республика Алтай находится в пределах Алтае-Саянского сложного бассейна корово-блоковых безнапорных и напорных подземных вод. В пределах бассейна на территории республики выделяются две структуры – Горно-Алтайская и Саяно-Тувинская гидрогеологические складчатые области (структура второго порядка), на площади которых по материалам гидрогеологического районирования установлены Алтайский и Саяно-Алтайский гидрогеологические массивы, и межгорные артезианские бассейны.

Радиоактивные элементы в природных водах Республики Алтай целенаправленно, по имеющимся сведениям, не изучались. Исключение составляет уран, содержания которого оценивались в подземных водах при проведении Государственного мониторинга состояния

недр ТЦ “Алтайгеомониторинг” ОАО “Алтай-Гео” в 1999–2002 гг. [4]. За прошедший период с 2003 по 2015 гг. ТЦ “Алтайгеомониторинг” в силу объективных причин (финансирование) определение урана в подземных водах не проводилось. В 2013–2015 гг. ТЦ “Алтайгеомониторинг” проведено повторное определение урана в подземных водах масс-спектральным методом с индуктивно связанной плазмой (аналитические исследования в ТПУ). Помимо урана в пробах вод анализировались гидрохимические показатели и 64 микроэлемента. Отбор проб ТЦ “Алтайгеомониторинг” проводится из эксплуатируемых водоносных комплексов и водоносных зон на водозаборных скважинах и родниках.

В нижеприведенной таблице 1 отображены статистические показатели урана в подземных водах Республики Алтай за период 1999–2002 гг. и 2013–2015 гг.

Анализ приведенной таблицы показывает, что средние (фоновые) концентрации урана за оба наблюдаемых периода существенно превышают таковые в подземных водах Саяно-Алтайской области. Данный факт объясняется гидрогеохимической специализацией территории, наличием значительных площадей массивов гранитоидов и сложнейшей тектонической обстановкой. Сказанное объясняет тот факт, что по результатам составления в 1996 г. ВСЕГИНГЕО радиогеохимической карты России масштаба 1:10000000 [13], территория Республики Алтай отнесена к интенсивно дифференцированной и повышено-радиоактивной. Таким образом, повышенные фоновые концентрации урана в водоносных комплексах и водоносных зонах территории имеют природный характер.

Сравнительный анализ содержания урана в подземных водах Республики Алтай за период 1999–2002 гг. и 2013–2015 гг. показывает, что они в последнем случае возросли в 2 раза. Это относится ко всем водовмещающим стратифицируемым водоносным комплексам и зонам.

Наиболее высокие концентрации урана устанавливаются в водоносных комплексах ордовикского, силурийского и кембро-ордовикского возраста, где водо-

Таблица 1. Содержание урана в подземных водах Республики Алтай

Типы вод и водовмещающие породы, геологический возраст	Годы	Кол-во проб	Содержание в мкг/л		
			минимум	максимум	среднее
Порово-пластовые в рыхлых отложениях (Q)	1999–2002	309	0,2	28	1,45
	2015	23	0,057	13	2,5
Пластовые воды Чуйского артезианского бассейна (P ₃ –N ₁)	1999–2002	57	0,17	36	1,04
	2015	6	0,019	7,7	1,4*
Пластовые воды Пыжинского грабена (T ₃)	1999–2002	2	0,24		
	2015	1	0,008		
Вулканогенные, осадочно-вулканогенные, вулканогенно-осадочные (D, E)	1999–2002	87	0,2	23	1,49
	2015	17	0,5	16,1	3,9
Терригенные, терригенно-осадочные, карбонатно-терригенные (D, E)	1999–2002	112	0,2	19,2	1,81
	2015	15	0,5	8,1	1,9
Песчанистые и осадочные (E ₂ -O ₁ , S, O ₁₋₃)	1999–2002	37	0,4	32	4,05
	2015	18	1,0	33	7,7
Кремнисто-терригенно-карбонатные (V-E ₁ , R ₃ -V)	1999–2002	45	0,07	5,6	0,83
	2015	20	0,1	6,3	1,6
Метаморфические сланцы (PR ₂)	1999–2002	40	0,2	9,2	1,41
	2015	8	1,2	5,3	2,8
Интрузивные образования	1999–2002	19	0,2	15	1,96
	2015	5	0,05	10	3,7
В целом по Алтае-Саянскому бассейну жильно-блоковых вод (без артезианских бассейнов)	1999–2002	698	0,2	28	1,66
	2015	118	0,008	33	3,4
Среднее содержание в подземных водах [14]:					
Горных областей		16 регионов			0,57
Саяно-Алтайской области		5168			0,78
Алтая		606			0,88

вмещающие породы представлены осадочными и терригенными породами (среднее содержание 7,7 мкг/л). В этих же отложениях выявлены (в Усть-Канском, Улаганском, Майминском, Онгудайском районах) аномальные концентрации урана, составляющие 1–2 ПДК.

В питьевых водах уран нормируется по химической токсичности. В России ПДК урана в питьевых водах принят равным 15 мкг/л (ГН 2.1.5.2280-07 дополнение к изменению 1 к ГН 2.1.5.1315-03), в Соединенных Штатах Америки – равным 30 мкг/л, Всемирная организация здравоохранения рекомендует норматив 15 мкг/л.

Уран и его соединения отличаются высокой токсичностью. В организме человека уран действует на все органы, являясь общеклеточным ядом. Молекулярный механизм действия урана связан с его способностью подавлять активность ферментов. Наиболее ранимы почки (появляются белок и сахар в моче, олигурия). При хронической интоксикации возможны нарушения кроветворения и нервной системы. При длительном поступлении в организм труднорастворимых соединений урана, когда наблюдается биологическое действие урана, как альфа-излучателя, развивается хроническая лучевая болезнь (заболевание, возникающее от воздействия различных видов ионизирующих излучений). Имеются сведения, что уран необходим для нормальной жизнедеятельности животных и растений, однако его физиологические функции не выяснены. Влияние высоких доз урана на теплокровный организм исследовано достаточно хорошо, чего нельзя сказать о малых дозах.

Вероятным объяснением повышения фоновых концентраций урана в подземных водах Республики Алтай в 2013–2015 гг. является активизация сейсмической деятельности в Алтае-Саянском регионе, проявившаяся с 2000 г. В 2003 г. в Республике произошло крупное Алтайское (Чуйское) землетрясение, в 2011 г. Тувинское [17]. До настоящего времени в АСР продолжают малоамплитудные афтершоки, количество которых с каждым годом увеличивается: в 2013, 2014 и 2015 гг. соответственно 609, 962 и 1212.

Однозначно установлено, что в период сейсмических событий малой амплитуды, происходят сотрясения массивов горных пород, которые продолжают последние 13 лет. “Подновляются” образовавшиеся в геологическую историю разломы разных масштабов и направлений, по которым поднимаются различные газы: азот, метан, сероводород, аргон, гелий, радон и другие. Помимо газов, как отмечают многочисленные исследователи [8, 9, 10], при землетрясениях по трещинам из глубинных слоев литосферы поступают ртуть, фтор, мышьяк, сурьма, литий, уран и другие элементы.

За период активизации сейсмической деятельности в АСР с 2000 г. в подземных водах увеличились фоновые концентрации таких микроэлементов, как мышьяк, сурьма, алюминий, марганец, железо, кадмий, медь, йод, фтор, литий, ртуть, окись кремния, радон [3, 5, 7]. Наблюдения показывают, что аномальные содержания вышеперечисленных компонентов, как правило, косякисичны с малоамплитудными афтершоками [16].

По материалам опробования подземных вод в 2013–2015 гг. нами проведен корреляционный анализ между ураном и показателями вод (химический и микроэлементный анализы).

Корреляционным анализом между 100 показателями, определенными химическим и масс-спектральными методами выявлены группы элементов со значимыми положительными связями:

1. Наиболее высокие достоверные (на уровне 99%) связи установлены между ураном и такими показателями вод, как натрий, калий, магний, хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты, нитраты, жесткость, общая минерализация. Таков характер связей прослеживается в пробах подземных вод, отобранных в разные периоды времени. Указанные связи, вероятно, характеризуют геохимические особенности водовмещающих пород.
2. Высокие (на уровне 95–99%) связи просматриваются между ураном, стронцием, барием, сурьмой, железом, медью, мышьяком, марганцем, молибденом, литием, йодом, цезием и практически всех их – с нитратами. Вероятно, данный вид взаимоотношений между химическими элементами можно объяснить сейсмической активизацией в Алтае-Саянском регионе.
3. Значимые корреляционные связи устанавливаются также между ураном, цезием, лантаном, литием, церием, самарием и нитратами.
4. Интересной и пока не объяснимой представляется положительная связь урана как с макрокомпонентами, так и с микроэлементами, и всех их с нитратами.
5. В проанализированных пробах подземных вод на территории республики четко прослеживается резкое преобладание урана над торием. Отношение урана к торию варьирует от 1 до 13000. Данный факт отмечен Л.П. Рихвановым [11, 12] и вероятно связан с радиохимическими особенностями воды.

Литература

1. Дутова Е.М. *Высотная гидрогеохимическая зональность Алтае-Саянской складчатой области // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири : Труды Всероссийской гидрогеохимической конференции, Томск 25–30 октября 2003 г. / Томский политехнический университет; Институт геологии и нефтегазового дела ТПУ. – Томск : Изд-во ТПУ, 2003. – С. 65–69.*
2. Дутова Е.М., *Особенности формирования гидрогеохимического фона рассеянных элементов в условиях гумидного климата // Материалы региональной конференции геологов Сибири Дальнего Востока и Северо-Востока России / глав. редактор А.В. Комаров. – Томск, 2000. – Т. 1 : Региональная геология. Геология нефти и газа. Гидрогеология и инженерная геология. Нормативно-правовое регулирование природоресурсных отношений. Геологическое и горное образование. Технология и техника геологоразведочных работ, горное дело. – С. 369–372.*
3. Кац В.Е. *Влияние сейсмической активизации в Алтае-Саянском регионе на состоянии подземных вод (на примере Республики Алтай) // Международная научно-практическая конференция “Гидрогеология в начале 21 века”. – Новочеркасск, 2006.*
4. Кац В.Е. *Природная радиоактивность геологической среды // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека : материалы II международной конференции. – Томск, 2004.*
5. *Динамика состояния подземных вод в период сейсмической активизации Алтае-Саянском регионе (на примере Республики Алтай) / В.Е. Кац, Е.Н. Бондаренко, В.Ю. Молокова и др. // Труды Всероссийской конференции с участием иностранных ученых. “Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами”. – Томск : НТЛ, 2012. – С. 136–140.*
6. Кац В.Е., Достовалова М.С. *Государственный мониторинг состояния недр территории Сибирского Федерального округа (Республика Алтай) в 2014–2015 гг. – 2015.*
7. 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, геохронология. – 2010. – № 3. – С. 207–212.*
8. Кисин И.Г. *Землетрясения и подземные воды. – М. : Наука, 1982.*
9. Кисин 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.*
10. Копылова Г.Н., Воропаев П.В. *Отклик режимного источника на землетрясение как индикатор состояния его подземной водоносной системы // Вулканология и сейсмология. – 2005. – № 2.*
11. Рихванов Л.П. *Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск, 1997.*
12. Рихванов Л.П. *Радиоактивные элементы в геосферных оболочках // Международная научно-практическая конференция “Гидрогеология в начале 21 века”. – Новочеркасск, 2006.*
13. Смыслов А.А. *Максимовский В.А. Радиохимическая карта России. Масштаб 1:10000000. Объяснительная записка. – СПб. : Роскомнедра, 1996.*
14. Шварцев С.А. *Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М. : Недра, 1998.*
15. *Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода. В 5 томах. Т. 2: Система вода-порода в условиях зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев, Б.Н. Рыженко, В.А. Алексеев и др. – Новосибирск : СО РАН, 2007. – 389 с.*
16. *Изменение химического состава подземных вод республики Алтай при землетрясениях / А.В. Шитов, В.Е. Кац, Е.М. Дутова и др. // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2016. – Т. 327, № 1. – С. 19–29.*
17. *Чуйское землетрясение и динамика сейсмической активизации эпицентральной области / А.Ф. Яманов, С.В. Селезнев, С.В. Гольдин и др. // Алтайское (Чуйское) землетрясение: прогнозы, характеристики, последствия : материалы научно-практической конференции. – Горно-Алтайск : ГАГУ, 2004.*