

ПОКАЗАТЕЛИ РАДИОАКТИВНОСТИ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

В.Е. Кац, В.В. Ролдугин, О.О. Вторушина

Акционерное общество «Геологическое предприятие «Алтай-Гео», с. Майма

Согласно гидрогеологическому районированию, Республика Алтай (РА) 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 (структуры второго порядка).

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 различного 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.

Радиологическая обстановка в РА определяется, прежде всего, наличием в фундаменте территории республики горных пород с повышенной радиоактивностью, широким распространением массивов гранитоидов и их гидрогеохимической специализацией, а также сложнейшей тектонической обстановкой. По результатам составления в 1996 г. ВСЕГИН-ГЕО радиогеохимической карты России масштаба 1:10000000 [Смыслов, Максимовский, 2000], территория РА отнесена к интенсивно дифференцированной и повышенно-радиоактивной.

Вторым важным фактором, определяющим радиационную обстановку территории республики в целом, и подземной гидросферы в частности, является активизация сейсмической деятельности в Алтае-Саянского региона (АСР) с начала 2000 г. [Яманов и др., 2004].

В 2003 г. в АСР произошло крупное Алтайское (Чуйское) землетрясение, в 2011 г. Тувинское. До настоящего времени в АСР продолжают малоамплитудные афтершоки, количество которых с каждым годом увеличивается. За период активизации сейсмической деятельности в АСР с 2000 г. в подземных водах РА увеличились фоновые концентрации радона, а также таких микроэлементов, как мышьяк, сурьма, алюминий, марганец, железо, кадмий, медь, йод, фтор, литий, ртуть, окись кремния. радон. Наблюдения показывают, что аномальные (выше фоновых) содержания перечисленных компонентов, как правило, ко-сейсмичны малоамплитудным афтершокам [Кац, 2004, 2006].

Радиоактивность, как известно, это способность атомных ядер некоторых химических элементов и их изотопов самопроизвольно распадаться (претерпевать радиоактивный распад) с испусканием характерного излучения (альфа-, бета-, гамма-излучение, рентгеновское, нейтронное). Радиоактивность естественная обусловлена присутствием в горных породах радиоактивных элементов, основным из которых является уран и его изотопы. Последние, распадаясь, переходят в радон. Искусственная радиоактивность обусловлена антропогенной деятельностью человека (АЭС, подводные атомные лодки, испытание ядерного оружия, ядерные взрывы в мирных целях и др.).

В предлагаемой статье авторы обобщили сведения по радиоактивности подземных вод Республики Алтай по данным ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по РА».

Состав радионуклидов в природных водах Республики Алтай (табл. 1) варьирует в очень широком диапазоне и зависит от типа вод, литологического состава водовмещающих горных пород, их гидрогеохимических показателей и тектонической обстановки. Вторым

важным фактором, влияющим на состав и количество радионуклидов в подземных водах, является сейсмическая деятельность [Копылова, 2008; Копылова, Воропаев, 2005].

По имеющимся сведениям [Вода..., 1994; Методические..., 1986], говорить о каких-либо конкретных фоновых значениях радиоактивности природных вод затруднительно, поскольку «диапазон вариаций содержания одного конкретного радионуклида даже в водах одного типа в пределах единой климатической зоны может достигать одного порядка, а в разных климатических зонах – три и более порядка».

В 2015 г. ОАО «Алтай-Гео» по материалам Государственного мониторинга подземных вод (начатые в 1999 г.) обработаны результаты определения урана в пробах подземных вод РА, отобранных за периоды 1999-2002 гг. и 2013-2015 гг. Эти периоды разделяются крупным Алтайским землетрясением, произошедшим в 2003 г. Проведенным анализом установлено, что во втором периоде концентрации урана в подземных водах РА выросли в 2 раза [Кац и др., 2012]. Это относится ко всем стратифицированным водоносным комплексам и зонам. Средние концентрации урана в подземных водах составили 1,66 и 3,4 мг/л в первом и втором периодах, на фоне 0,78 мг/л в водах Алтае-Саянского региона.

В питьевых водах уран нормируется по химической токсичности. В России ПДК урана в питьевых водах принят равным 15 мкг/л, в Соединенных Штатах Америки - 30 мг/л. Всемирная организация здравоохранения рекомендует норматив 15 мг/л.

Весьма важным показателем состояния питьевых вод является наличие в ней радона. Установлено, что фоновая объемная активность радона в водоносных комплексах РА варьировала до Алтайского землетрясения от 3,6 до 63 бк/л при среднем значении 23 бк/л [Кац, 2004]. В период малоамплитудных сейсмических событий (косейсмичных) в разных типах вод республики объемная активность колебалась от 4 до 266 бк/л, в единичных случаях до 2650 бк/л.

На рисунке 1 отображена связь объемной активности радона в подземных водах республики с малоамплитудными сейсмическими событиями. Из рисунка видно, что с 2003 по 2011 гг. прослеживался пилообразный характер как величины объемной активности радона, так и энергии сейсмических событий. В последние годы связь между показателями линейная, и среднегодовая величина объемной активности уменьшилась до 5,9 бк/л. Между радоном в воде и малоамплитудными сейсмическими событиями устанавливается значимая положительная корреляционная связь (на 95 % уровне) как на уровне гидрогеологических подразделений, так в хронологическом порядке по годам. Значительное уменьшение радона в подземных водах может свидетельствовать о том, что на территории республики возможно очередное крупное сейсмическое событие (в Улаганском районе). Как известно, минимум радона устанавливается в подземных водах территорий в эпицентральных частях крупных землетрясений [Уткин, 2000]. В приведенной таблице отображены показатели радона в разных гидрогеологических типах подземных вод РА. Анализ показателей радона свидетельствует, что устанавливаются весьма существенные вариации по величине объемной активности радона. Большой разброс содержания радона (от 0,1 до 2650 бк/л) в питьевых водах на опробованных водозаборах в период малоамплитудных сейсмических событий, вероятно, имеет несколько объяснений: во-первых, местонахождение участка водозабора в сейсмически активной зоне, либо вне ее; во-вторых, структурно-тектоническое и геологическое строение участка, в т.ч. характер водовмещающих пород; в-третьих, интенсивность сейсмического события и расстояние от эпицентра до участка водозабора. Однозначно установлено, что в период сейсмических событий малой амплитуды происходят сотрясения массивов горных пород, которые продолжаются последние 15 лет.

«Подновляются» образовавшиеся в геологическую историю разломы разных масштабов и направлений, по которым поднимаются различные газы: азот, метан, сероводород, аргон, гелий, радон и другие. Агентство по охране окружающей среды США (USEPA) рекомендует в качестве предельной величины содержания радона в воде 11,1 бк/л [Максимально допустимые...]. Средние значения таковой в РА в спокойное время больше рекомендованной в 2 раза, а в период сейсмической активизации - до 5 раз.

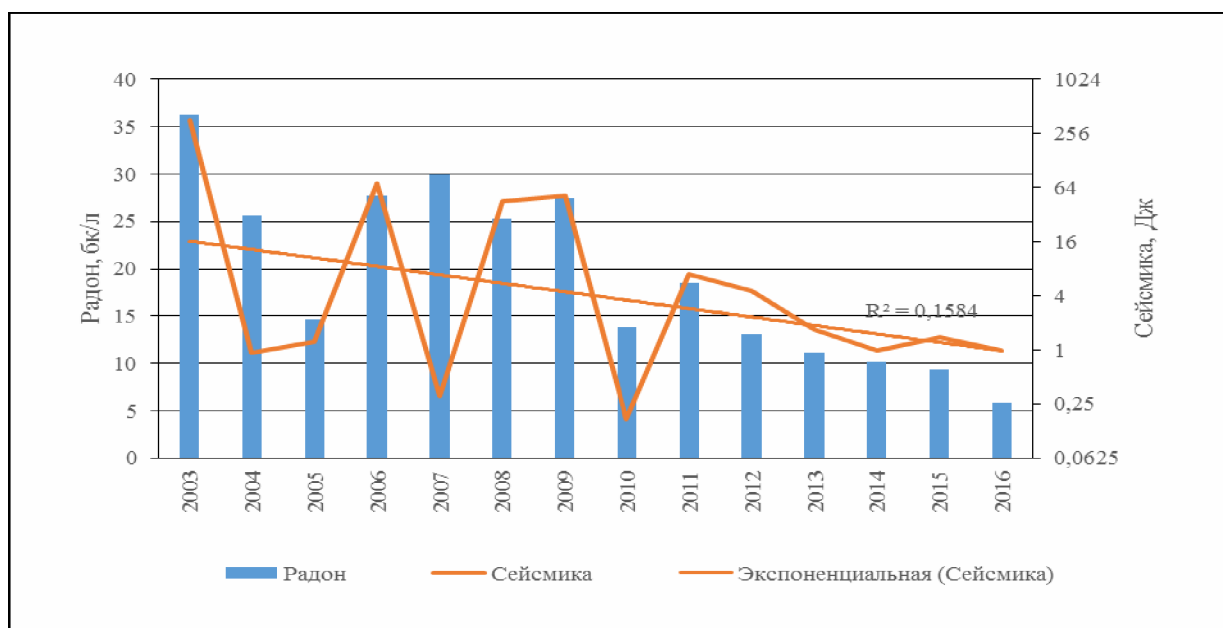


Рис. 1. Связь объемной активности радона в подземных водах Республики Алтай с сейсмическими событиями в Алтае-Саянском регионе.

Суммарные альфа- и бета-активности в природных водах Республики Алтай целенаправленно, по имеющимся сведениям, не изучались. Нами проанализированы сведения по $\Sigma\alpha$ и $\Sigma\beta$ -активности в разных типах питьевых подземных вод (более 1000 проб, табл. 1). Аналитические исследования проводились в ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по РА» на альфа-бета радиометре УМФ-2000.

Альфа- и бета-активности природных вод обуславливаются нахождением в них элементов ториевого и радиевого рядов распада. Данные элементы находятся в воде в различных соединениях и могут быть как растворены в воде, так и находятся в коллоидной или взвешенной формах. Как правило, превышение по данным показателям сопровождается

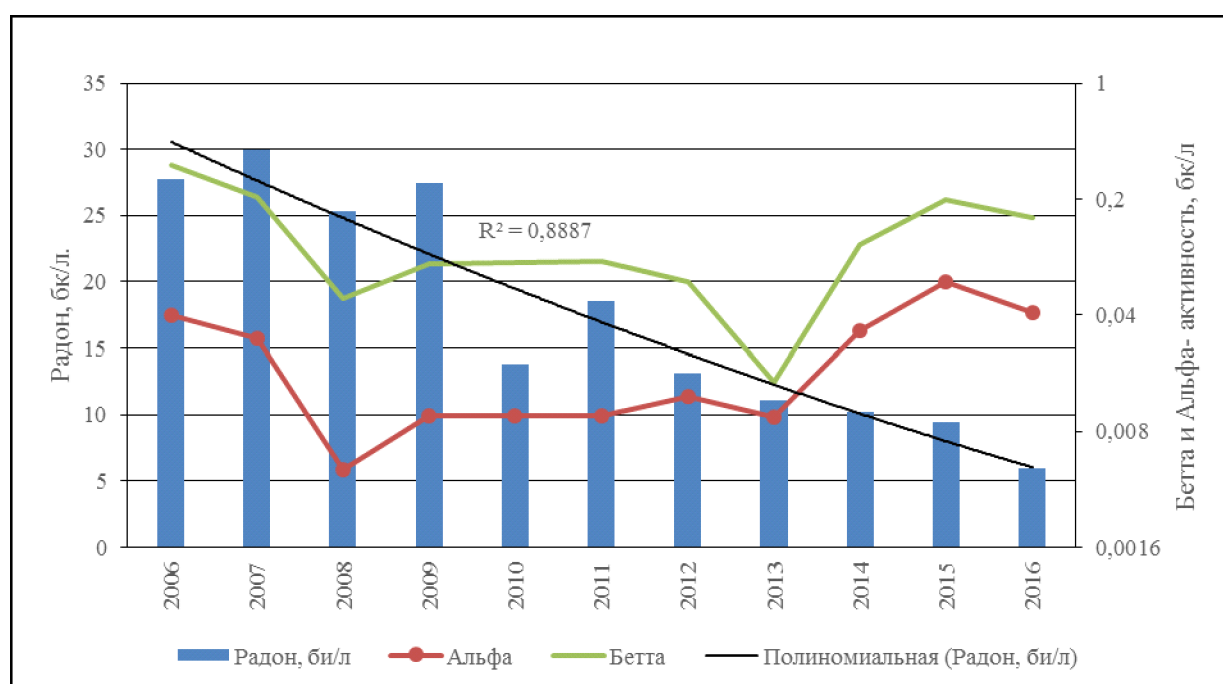


Рис. 2. Показатели радиоактивности в подземных водах РА в 2006-2016 гг.

Таблица 1. Показатели радиоактивности в подземных водах Республики Алтай

Типы вод и водовмещающие породы, геологический возраст	Кол-во проб радон/ а-б-активность	Удельная активность в бк/л					
		Радон		а-активность		б-активность	
		Мин/мах	Среднее / +/-	Мин/ мах	Среднее/ +/-	Мин/ мах	Среднее/ +/-
Порово-пластовые в рыхлых отложениях (Q)	630/324	0,33/192	17,6/4,4	0,001/0,72	0,023/0,007	0,001/0,919	0,093/0,012
Порово-пластовые ВК четвертичных отложений совместно с ВЗ палеозойских пород	260/125	0,4-50	20,3/5,1	0,001/0,608	0,024/0,013	0,001/0,55	0,095/0,011
Пластовые воды Чуйского артезианского бассейна (P ₃ -N ₁)	186/110	0,1/39,4	9,5/1,6	0,004/0,176	0,033/0,013	0,009/0,76	0,11/0,025
Вулканогенные, осадочно-вулканогенные, вулканогенно-осадочные (D, E)	437/256	1/170,6	18,7/4,0	0,001/0,338	0,029/0,013	0,001/0,817	0,122/0,024
Терригенные, карбонатно-терригенные (D, E)	149/100	1/545	17,2/3,4	0,001/0,117	0,032/0,01	0,001/0,74	0,113/0,019
Осадочные (E ₂ -O ₁ , S, O ₁₋₃)	306/176	0,1/161	18,8/4,6	0,001/0,657	0,031/0,01	0,001/2,088	0,128/0,02
Кремнисто-терригенно-карбонатные (V-E ₁ , R ₃ -V)	665/290	0,1/2650	21,1/6,7	0,001/0,253	0,021/0,005	0,003/0,514	0,1/0,14
Метаморфические сланцы (PR ₂)	152/94	0,6/55	13,6/2,5	0,001/0,258	0,031/0,017	0,003/0,381	0,093/0,012
Интрузивные образования	40/17	0,7/50	19,4/5,0	0,003/0,114	0,016/0,004	0,01/0,284	0,1/0,01
В целом по Алтае-Саянскому бассейну жильно-блоковых вод (без артезианских бассейнов)	2825/1492	0,1/2650	18,5/4,5	0,001/0,721	0,024/0,007	0,001/2,088	0,103/0,014
Питьевые воды Москвы				0,03/1,43	0,17	0,02/0,98	0,36
Родники Дагестана [Бугаев и др., 2006]					0,03-0,19/0,03-0,15		0,64-1,46/0,47-0,95
Национальные парки Байкальской природной территории (родники) [Мясников и др., 2004]		93-1340					
Средняя полоса Европейской России				0,04-0,36		0,35-2,0	
Красноярский край и Хакасия, артезианские бассейны [Доморенко, Кузьмин, 2004]				0,108-0,725	0,405	0,509-0,816	0,800
Красноярский край и Хакасия, гидрогеологические массивы [Доморенко, Кузьмин, 2004]	Н.с./5-95	26-30			0,179		0,698

Таблица 2. Матрица парных коэффициентов корреляции между показателями радиоактивности и энергией сейсмических событий в подземных водах Республики Алтай. Значимый коэффициент корреляции при 99,9% 0,23 (n=184)

Радон, бк/л	Σa , бк/л	Σb , бк/л	Энергия сейсмических событий, дж	
1	-0,23	-0,05	0,39	Радон, бк/л
	1	0,42	-0,05	Σa , бк/л
		1	-0,02	Σb , бк/л
			1	Сейсмика, дж

повышенной концентрацией радиоактивного газа радона ^{222}Rn , который непрерывно распадается на дочерние продукты, излучающие альфа- и бета-активность.

В таблице 2 отображены статистические показатели по радону, Σa и Σb -активности. Как показывает таблица, разброс величин показателей радиоактивности в подземных водах республики весьма велик, особенно это относится к радону. Максимальные значения его устанавливаются в водоносных комплексах осадочных и интрузивных пород, данный факт подтверждается многочисленными исследованиями [Бутаев и др., 2006; Доморенко, Кузьмин, 2004; Рихванов, 2006].

Согласно литературным данным, в питьевых водах средней полосы Европейской России, Москвы, Дагестана, Красноярском крае и Хакасии (табл. 1), Σa и Σb -активности подземных вод варьирует весьма значительно. Из таблицы следует, что Σa и Σb -активности природных вод Республики Алтай в целом ниже сравниваемых величин. 5 % проб воды (из проанализированных) превышает гигиенический норматив общей альфа-активности (0.1 Бк/л) и менее 1 % – гигиенический норматив по общей бета-активности (1.0 Бк/л). Разброс величин показателей Σa и Σb -активности в подземных водах РА весьма велик. Средние же значения в разных ВК близки и составляют для: Σa 0,016-0,033 бк/л, и Σb 0,093-0,128 бк/л. Повышенные средние величины по Σa и Σb -активности выявлены в водоносных комплексах Чуйского артезианского бассейна и водоносных комплексах песчаных и осадочных отложений в гидрогеологических массивах. Корреляционным анализом между показателями радиоактивности в 184 пробах подземных вод республики выявлена весьма высокая положительная связь при уровне доверия 99 % (значимый коэффициент корреляции 0,23: между Σa и Σb -активности - 0,42; между радонем и энергией сейсмических событий - 0,39. Положительные связи между Σa и Σb -активностью и энергией сейсмических событий в подземных водах не устанавливаются.

Литература

Бутаев А.М., Абдуллаева А.С., Гуруев М.А. Радиоактивность природных вод и искусственные радионуклиды в объектах биосферы Дагестана // Вестник Дагестанского научного центра, 2006, № 24, с. 62-69.

Вода питьевая. Сборник государственных стандартов. - М.: Изд-во стандартов, 1994.

Доморенко В.А., Кузьмин В.А. Радиогидрогеохимические особенности вод юга Красноярского края и Республики Хакасии // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы II Международной конференции. -Томск, 2004.

Кац В.Е. Природная радиоактивность геологической среды // В кн. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы II международной конференции. Томск, 2004.

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.

Кац В.Е., Бондаренко Е.Н., Молокова В.Ю., Ролдугин В.В. Динамика состояния подземных вод в период сейсмической активизации Алтае Саянском регионе (на примере Республики Алтай) // Труды Всероссийской конференции с участием иностранных ученых «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Томск, 2012. С. 136-140.

Копылова Г.Н. О связи режима подземных вод с сейсмичностью и деформациями земной коры на стадиях подготовки сильных землетрясений // Разведка и охрана недр, 2008, № 7.

Копылова Г.Н., Воронаев П.В. Отклик режимного источника на землетрясение как индикатор состояния его подземной водоносной системы // Вулканология и сейсмология, 2005, № 2.

Максимально допустимые уровни концентраций. Акт США о безопасной питьевой воде: Public Law. P. 93-523.

Методические рекомендации по определению радиоактивного загрязнения водных объектов. - М.: Гидрометеиздат, 1986.

Мясников А.А., Медведев В.И., Коршунов Л.Г. и др. Радиационная обстановка особо охраняемых участков центральной экологической зоны Байкальской природной территории (БПТ) // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. - Материалы II Международной конференции. -Томск, 2004.

Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в геосферных оболочках // Международная научно-практическая конференция «Гидрогеология в начале 21 века». Новочеркасск, 2006.

Смыслов А.А., Максимовский В.А. Радиохимическая карта России. Масштаб 1:10000000. Объяснительная записка. – Санкт-Петербург: Роскомнедра, 1996.

Уткин В.И. Радон и проблема тектонических землетрясений // Соросовский образовательный журнал, 2000, т. 6, № 12.

Яманов А.Ф., Селезнев С.В., Гольдин С.В. и др. Чуйское землетрясение и динамика сейсмической активизации эпицентральной области. // В сб. «Алтайское (Чуйское) землетрясение: прогнозы, характеристики, последствия». Материалы научно-практической конференции. Горно-Алтайск: ГАГУ, 2004.