РАДИОАКТИВНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ В АФТЕРШОКОВЫЙ ПЕРИОД АЛТАЙСКОГО (ЧУЙСКОГО) И ТУВИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В АЛТАЕ-САЯНСКОМ РЕГИОНЕ

В.Е. Кац, В.В. Ролдугин
Акционерное общество «Алтай-Гео», с. Майма, Республика Алтай

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 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.

Радиологическая обстановка в РА определяется, прежде всего, наличием в фундаменте территории республики горных пород с повышенной радиоактивностью, широким распространением значительных площадей массивов гранитоидов и их гидрогеохимической специализацией, а также сложнейшей тектонической обстановкой. По результатам составления в 1996 г. ВСЕГИНГЕО радиогеохимической карты России масштаба 1:10 000 000 [Смыслов, Максимовский,1996] территория Республики Алтай отнесена к интенсивно дифференцированной и повышено-радиоактивной.

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

В 2003 г. в Республике Алтай произошло сильное Алтайское (Чуйское) землетрясение, в 2011 г. – Тувинское. До настоящего времени в АСР продолжаются малоамплитудные афтершоки, количество которых с каждым годом увеличивается.

За период активизации сейсмической деятельности в АСР с 2000 г. в подземных водах республики увеличились фоновые концентрации таких микроэлементов, как мышьяк, сурьма, алюминий, марганец, железо, кадмий, медь, йод, фтор, литий, ртуть, окись кремния. радон. Наблюдения показывают, что аномальные (на повышенных фоновых) содержания вышеперечисленных компонентов, как правило, косейсмичны малоамплитудным афтершоками [Кац, 2004, 2006].

Радиоактивность, как известно, – 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 бывает естественная, обусловленная 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 в Республике Алтай».

Состав радионуклидов в природных водах Республики Алтай (таблица) 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 [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. АО «Алтай-Гео» по материалам Государственного мониторинга подземных вод (начатые в 1999 г.) обработаны результаты определения урана в подземных водах Республики Алтай, отобранные за период 1999-2002 гг. и 2013-2015 гг. Эти периоды разделяются Алтайским землетрясением, произошедшим в 2003 г. Проведенным анализом установлено, что во втором случае концентрации урана в подземных водах республики выросли в 2 раза [Кац и др., 2012], это относится ко всем водовмещающим стратифицируемым водоносным комплексам и водоносным 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-Саянской области.

В питьевых водах уран нормируется по химической токсичности. В России ПДК урана в питьевых водах принят равным 15 мкг/л, в Соединенных Штатах Америки равным 30 мг/л. Всемирная организация здравоохранения рекомендует норматив 15 мг/л [Ионизирующее..., 1999].

Весьма важным показателем состояния питьевых вод является наличие в ней радона. Установлено, что фоновая объемная активность радона в водоносных комплексах Республики Алтай варьировалась 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 [Кац, 2004].

На рис. 1 отображена связь объемной активности радона в подземных водах республики с малоамплитудными сейсмическими событиями. Из рисунка видно, что с 2003 г. по 2011 г. прослеживался пилообразный характер как величины объемной активности радона, так и энергии сейсмических событий. При этом отмечается четкая тенденция уменьшения величины объемной активности радона до 6,0 бк/л в 2019 г. 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 Республики Алтай до 6,0 бк/л в 2019 г., по-видимому, свидетельствовало о том, что эпицентр сейсмической активизации АСР перемещался на восток, где в 2020 г. произошло землетрясение с магнитудой 6,8 (Монголия). При этом среднегодовая объемная активность радона в Республике Алтай в 2020 г. выросла до 8,2 бк/л., а температура подземных вод на наблюдательном пункте в г. Горно-Алтайске во второй половине 2020 г. составила 16 ^{0}С (в первом полугодии она составляла 13 ^{0}С). Т. е. названные показатели являлись, по сути, индикаторами произошедшего в конце 2020 г. крупного землетрясения.

Как известно, минимум радона устанавливается в подземных водах территорий в эпицентральных частях сильных землетрясений [Уткин, 2000]. В приведенной таблице отображены показатели радона в разных гидрогеологических типах подземных вод Республики Алтай. Анализ показателей радона свидетельствует, что устанавливаются весьма существенные вариации по величине объемной активности радона. Большой разброс 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-текто-

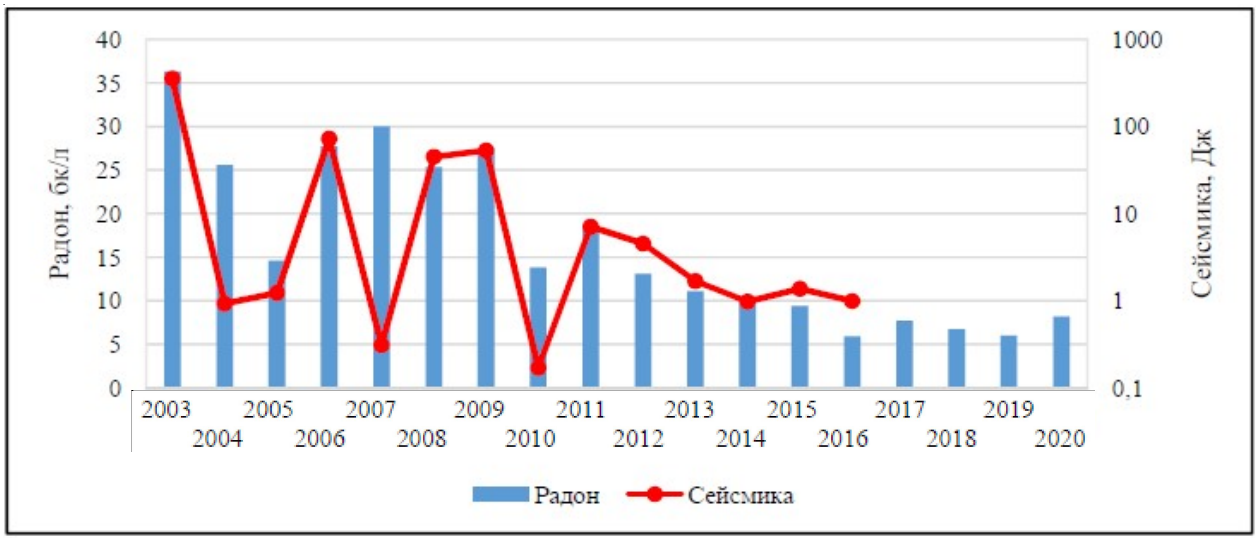

Рис. 1. Взаимосвязь объемной активности радона в подземных водах РА с сейсмическими событиями в АСР.

ническое и геологическое строение его, в т.ч. характер водовмещающих пород; и 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 17 лет. «Подновляются» образовавшиеся в геологическую историю разломы разных масштабов и направлений, по которым поднимаются различные газы: азот, метан, сероводород, аргон, гелий, радон и другие. Данный факт в, частности, подтверждается наличием аномальных концентраций гелия в подземных водах Республики Алтай в эпицентральной части Алтайского землетрясения [Дутова].

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 Республике Алтай в спокойное время больше рекомендованной в 2 раза, а в период сейсмической активизации – до 5 раз.

Суммарные альфа- и бета-активности в природных водах Республики Алтай целенаправлено, по имеющимся сведениям, не изучались. Нами проанализированы сведения по Уа- и Уb-активности в разных типах питьевых подземных вод (более 1000 проб, таблица).

Аналитические исследования проводились в ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Алтай» 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 находиться в коллоидной или взвешенной формах. Как правило, превышение по данным показателям сопровождается повышенной концентрацией радиоактивного газа радона ^{222}Rn, который непрерывно распадается на дочерние продукты, излучающие альфа- и бета-активность.

В нижеприведенной таблице отображены статистические показатели по радону, Уа- и Уb-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 терригенных, осадочных и интрузивных пород, данный факт подтверждается многочисленными исследованиями [Бутаев и др., 2006; Доморенко, Кузьмин, 2004; Рихванов, 2006]. Согласно литературным данным, в средней полосе в питьевых водах Европейской России, Москвы, Дагестана, Красноярском крае и Хакасии (табл.), Уа- и Уb-активности подземных вод варьируют весьма значительно. Из приведенной таблицы следует, что Уа- и Уb-активности природных вод Республике Алтай в целом ниже сравниваемых величин. 5 % проб воды (из проанализирован-

1. Показатели радиоактивности в подземных водах Республики Алтай

Типы вод и водовмещающие породы, геологический возраст	Кол-во проб радон/ a- b-активность	Удельная активность в бк/л					
		Радон		a-активность		b-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
Водоносные зоны в вулканогенных, осадочно-вулканогенных, вулканогенно-осадочных образованиях (D, Є)	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
Водоносные зоны в терригенных, терригенно-осадочных, карбонатно-терригенных образованиях (D, Є)	149/100	1/545	17,2/3,4	0,001/0,117	0,032/0,01	0,001/0,74	0,113/0,019
Водоносные зоны в песчанистых и осадочных отложениях ($Є_2$-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
Водоносные зоны в кремнисто-терригенно-карбонатных образованиях (V-$Є_1$,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
Водоносные зоны в метаморфических сланцах (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
Водоносные зоны в интрузивных образованиях	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 [1]					0,03-0,19/0,03-0,15		0,64-1,46/0,47-0,95
Национальные парки Байкальской природной территории (родники) [13]		93-1340					
Средняя полоса Европейской России				0,04-0,36		0,35-2,0	
Красноярский край и Хакасия [3], артезианские бассейны	Н.с./5-95	26-30		0,108-0,725	0,405	0,509-0,816	0,800
Красноярский край и Хакасия [3], гидрогеологические массивы					0,179		0,698

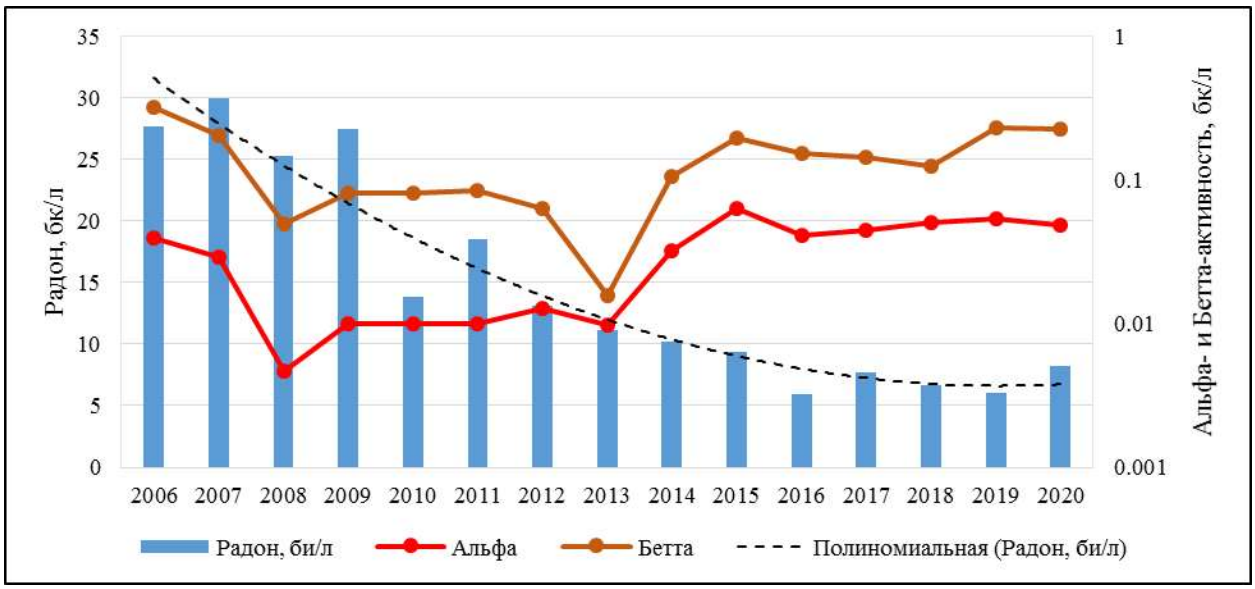

Рис. 2. Показатели радиоактивности в подземных водах РА в 2006-2020 гг.

ных) превышает гигиенический норматив общей альфа-активности (0,1 бк/л) и менее 1 % – гигиенический норматив по общей бета-активности (1,0 бк/л).

Как видно из таблицы и рис. 2, разброс величин показателей Уа- и Уb-активности в подземных водах республики весьма велик. Средние же значения в разных ВК близки и составляют для: Уа 0,016-0,033 бк/л, и У b 0,093-0,128 бк/л. Повышенные средние величины по Уа и Уb-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 Уа- и Уb-активности – 0,42; между радоном и энергией сейсмических событий – 0,39. Положительные связи между Уа- и Уb-активностью и энергией сейсмических событий в подземных водах не устанавливаются.

Выводы.

1. Для гидрогеологических и сейсмических условий РА впервые изучены и проанализированы показатели радиоактивности в подземных водах в период активизации сейсмической деятельности в АСР.

2. Повышенный фон радиоактивности в подземных водах региона имеет природный характер и объясняется гидрогеохимическими особенностями территории.

3. Высокая объемная активность радона в водах республики тяготеет к зонам тектонических нарушений в южной части региона. К разломам приурочены эпицентральная зона Чуйского землетрясения и его афтершоки, продолжающиеся до настоящего времени.

4. Положительные связи между Уа- и Уb-активностью и энергией сейсмических событий в подземных водах РА 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.

Доморенко В.А., Кузьмин В.А. Радиогидрогеохимические особенности вод юга Красноярского края и Республики Хакасии. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека // Материалы 11 Международной конференции. Томск, 2004.

Дутова Е.М., В.Е. Кац, А.В. Шитов, А.И. Сурнин, В.А. Молоков. Гелий в подземных водах Республики Алтай.

Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758-99. М.: Минздрав РФ, 1999. 116 с.

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, Издательство НТЛ, 2012. С. 136-140.

Кисин И.Г. Землетрясения и подземные воды. М.: Наука, 1982.

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., Воропаев 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, 93-523.

Методические рекомендации по определению радиоактивного загрязнения водных объектов. М.: Гидрометеоиздат, 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 11 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, том 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.