

*Мальгин М.А.* Биогеохимическая ситуация в бассейне верхней Оби // Материалы 3-й Российской биогеохимической школы «Геохимическая экология и биогеохимическое изучение таксонов биосферы». Новосибирск, 2000.

*Мальгин М.А.* Йод в почвенном покрове Алтая. Химические элементы в системе почва-растения. Новосибирск:Наука, 1982.

*Перельман А.И.* Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Наука, 1972.

*Справочник* предельно допустимых концентраций вредных веществ в пищевых продуктах и среде обитания. М.: Госкомсанэпиднадзор, 1993.

*Шварцев С.А.* Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Наука, 1998.

---

## **РАДОН В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ В ПЕРИОД СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ В АЛТАЕ-САЯНСКОМ РЕГИОНЕ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ)**

**В.Е. Кац, С.С. Драчев**

ОАО «Геологическое предприятие «Алтай-Гео» с. Майма

Республика Алтай в гидрогеологическом плане находится в юго-западной части Алтае-Саянской гидрогеологической складчатой области и характеризуется сложным геологическим и тектоническим строением.

Республика Алтай относится к территориям, характеризующимся повышенной радононосностью, что объясняется наличием на ее площади большого количества (около 50%) интрузивных и вулканогенных образований кислого состава с повышенным содержанием радиоактивных элементов либо с наличием урановой минерализации (повышенно радиоактивной), во-первых, и весьма сложным тектоническим строением, во-вторых (Уткин, 2000).

Современная геодинамическая активность территории Алтае-Саянского региона, в том числе и Республики Алтай, характеризуется активизацией сейсмической деятельности (Гольдин и др., 2004). Сейсмичность территории Республики Алтай в соответствии с картами ОСР-97 соответствует 8-10 баллам шкалы МСК-64 при среднем периоде повторения сотрясений такой силы 500 лет. Такой уровень сейсмичности говорит о большой вероятности возникновения в республике катастрофических землетрясений с большой силой разрушения. Подтверждение этому факту явилось Алтайского (Чуйского) землетрясения, которое произошло в пределах Чуйской сейсмоактивной зоны 27 сентября 2003 г. с магнитудой 7,5. В развитии любого землетрясения выделяется три периода: период подготовки землетрясения (форшоковый период), главное сейсмическое событие (толчок) и период, сопровождающий землетрясение (афтершоковый период).

Территория Юго-Восточного Алтая испытывает сейсмическую активизацию, по мнению новосибирских сейсмологов, с 1996 года (Гольдин и др., 2004). Наиболее активно форшоковый процесс протекал в 2002 году. В 2003 г. вплоть до главного толчка в регионе наблюдалось сейсмическое затишье. Основное сейсмическое событие произошло 27 сентября 2003 года. По мнению ученых СО РАН, эпицентр главного толчка приурочен к разлому, являюще-

1. Сейсмическая активность территории АСР и Республики Алтай в форшоковый и афтершоковый период Чуйского землетрясения

Год	Алтае-Саянский регион					Республика Алтай				
	Число событий с магнитудой					Число событий с магнитудой				
	всего	менее 3	3,0-3,9	4,0-4,9	более 5	всего	менее 3	3,0-3,9	4,0-4,9	более 5
2001	73	32	35	6	–	10	4	6	–	–
2002	84	70	12	2	–	9	7	2	–	–
2003	347	108	175	49	15	287	62	169	42	14
2004	196	37	130	26	3	136	14	108	14	–
2005	80	34	37	8	1	20	7	9	4	–
2006	53	18	31	2	2	14	7	7	–	–
2007	34	7	24	3	–	15	4	10	1	–
2008	54	16	30	7	1	11	5	3	3	–

муся границей между Чаган-Узунским (Сукорским) блоком и Северо-Чуйским хребтом, на юго-западной границе блока. На протяжении всего периода после Чуйского землетрясения территория Юго-Восточного Алтая испытывает афтершоки, интенсивность которых в целом уменьшается. При этом отмечаются отдельные всплески аномальных интенсивностей афтершоков в отдельные годы (таблица 1). По мнению академика Гольдина С.В. (2004), афтершоковый процесс на Алтае при таком классе землетрясений может длиться годы и даже более десятилетия. За период 2004-2008 гг. афтершоковый процесс развивается согласно закону повторяемости землетрясений, но с дефицитом крупных афтершоковых событий. По мнению сейсмологов, данный факт не исключает в ближайшем будущем землетрясений среднего энергетического класса (магнитудой 5-6).

По данным сейсмологов (Еманов и др., 2004), землетрясение в 2003 г. в Республике Алтай и сопровождающий его афтершоковый процесс вызвали активизацию сейсмических событий в областях, расположенных южнее и юго-восточнее Чуйско-Курайской зоны (Монголия, Тыва, Китай), а также территорию, соответствующую фасу Алтая (Алтайский край, Кемеровская область), в т.ч. активизировали зону Катунского глубинного разлома.

Сейсмическая активность территории постепенно снижается, приближаясь к уровню активности в форшоковый период землетрясения (2001-2003 гг.). Сейсмические события малой амплитуды распределены на территории Алтае-Саянского региона неравномерно, локализуясь, в основном, в эпицентральной зоне землетрясения и в сейсмоактивных зонах сопредельных территорий Тывы, Монголии, Казахстана. Число сейсмических событий на территории Республики Алтай, в сравнении с общим количеством землетрясений в Алтае-Саянском регионе, начиная с 2003 г., составляет значительную долю: в 2003 г. – 83 %, в 2004 г. – 69 %, в 2005 г. – 25 %, в 2006 г. – 26 %, в 2007 г. – 35 %, в 2008 г. – 25% от общего числа событий в Алтае-Саянском регионе. Интенсивность афтершоков составляла 2,6-5,6 баллов. Афтершоковые сейсмические события оказывают комплексное воздействие на состояние геологической среды, в том числе на состояние подземных вод.

В связи с Алтайским землетрясением, произошедшим осенью 2003 г., состояние геологической среды, в том числе состояние подземных вод, в Республике Алтай изменилось (Кац, 2004, 2006а, 2006б; Шитов и др., 2008). В разных гидрогеологических структурах либо исчезли старые, либо образовались новые родники, значительно изменился гидродинамический режим подземных вод, в основном в сторону понижения уровня подземных вод. В форшоковый и начальной стадии афтершокового периода существенно изменился качественный состав подземных вод (химический и микроэлементный) в эпицентральной зоне землетрясе-

ния и тектонических сейсмоактивных зонах. На территории г. Горно-Алтайска появились термальные источники (Шитов и др., 2006).

Многочисленными исследованиями (Киссин, 1982; Копылова, Воропаев, 2005; Основы..., 1982; Пронин, 1997; Шабынин и др., 1988; Шевченко, кац, 2008) установлено, что газовый состав подземных вод - азот, гелий, фтор, метан, сероводород и радон - является индикатором сейсмических событий. При этом наиболее ярким краткосрочным индикатором землетрясений оказался радон.

Как известно, естественный радиоактивный газ радон является продуктом распада радия, который, в свою очередь, появился в результате распада урана-238. Из-за своих особенностей радон – оптимальный индикатор при различных геологических исследованиях. Во-первых, радон как радиогенный газ непрерывно генерируется в горных породах в процессе радиоактивного распада, то есть всегда присутствует в любом горном массиве, и уменьшение его концентрации за счет распада (период полураспада радона равен 3,825 дня) и за счет миграции массива в воздух постоянно компенсируется новой генерацией этого газа. Поэтому среднее содержание радона в массиве всегда постоянно и определяется концентрацией урана (радия) в этом массиве.

Статистический анализ исследованных сейсмических событий (Шабынин и др., 1988) показывает, что реакция радона в природных объектах на сейсмические события, ограничены расстоянием до 50 км - «ближняя зона» (зона сжатия), где объемная активность радона остаётся в целом неизменной и зоны растяжения («дальняя зона»), реагирующей повышением объемной активности радона, которая имеет размер до 150-250 км. Причем с увеличением магнитуды будущего землетрясения эпицентральный радиус «ближней» зоны увеличивается. Было установлено также, что динамическое изменение концентрации радона, растворенного в подземных водах, также зависит от расстояния от эпицентра землетрясения. В большинстве случаев наблюдаются аномалии концентрации радона в подземных водах, характерные для «дальней» зоны.

По данным Копыловой Г.Н. (Копылова, 2008; Копылова, Воропаев, 2005) аномальные изменения параметров газового состава подземных вод перед землетрясениями 4-6 баллов, отмечается за недели и даже месяцы до события на расстоянии 90 - 320 км от эпицентра. При этом уровень концентрации газов зависит от интенсивности сейсмического события, расстояния от эпицентра события, от тектонической обстановки, пористости и проницаемости горных пород и других факторов. При этом наиболее высокие концентрации радона фиксируются в «дальней зоне».

Нами проанализированы результаты определения радона в подземных питьевых водах, предоставленные ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по РА». Отбор проб осуществлялся сотрудниками ТЦ «Алтайгеомониторинг» и ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по РА» в рамках санитарно-гигиенического мониторинга (всего 1100 проб в 132 населенных пунктах РА). Определение объемной активности радона в воде выполнены в радиологической лаборатории ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по РА», руководитель лаборатории Обухов И.П. Измерения объемной активности радона в воде выполнялись прибором гамма - 01 С№55, погрешность 25%.

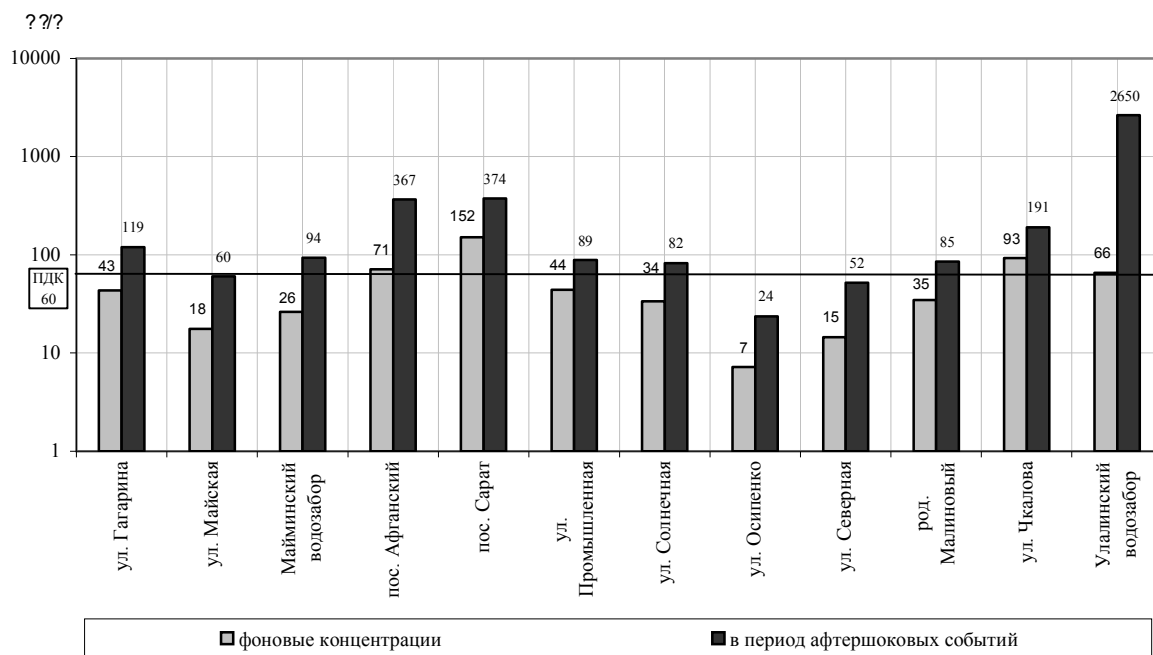
Материалы по сейсмическим событиям любезно предоставлены сейсмологами СО РАН (г. Новосибирск). Объемная активность радона в подземных водах РА за прошедший период варьировали от 4 до 2650 бк/л, при этом четко отмечено, что в период сейсмических событий абсолютные значения объемной активности радона в воде увеличивались. В таблице 2 приведена объемная активность радона в водоносных комплексах Республики Алтай. Фоновая активность радона в подземных водах Республики Алтай в разных водных объектах варьируют от 3,6 до 63 бк/л, составляя в среднем 23 бк/л, исключение составляют подземные воды ордовикско-силурийских карбонатно-терригенных отложений в Ануйско-Чуйском гид-

## 2. Объемная активность радона в водоносных комплексах Республики Алтай (бк/л)

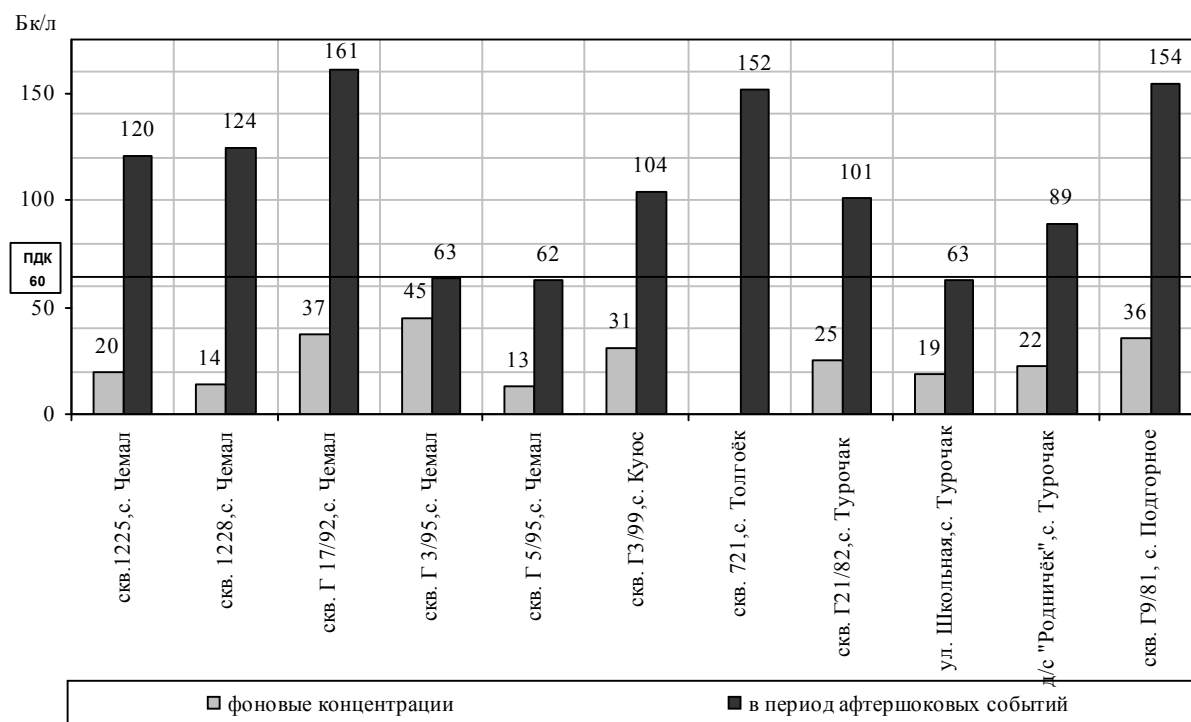
№ п/п	Геологический возраст	В целом по РА (фоновые)		В период афтершоков	
		Кол-во проб	Ср. знач.	Кол-во проб	Ср. знач.
1	Верхнечетвертичный- современный водоносный комплекс (Q <sub>III-IV</sub> )	110	22	103	27
2	Верхнечетвертичный водоносный комплекс (Q <sub>III</sub> )	32	22	82	28
4	Нижне-среднечетвертичный водоносный комплекс (Q <sub>I-II</sub> )	12	27	14	38
5	Девонский водоносный комплекс терригенных и вулканогенных пород (D)	22	22	35	34
6	Силурийско-ордовикский водоносный комплекс карбонатно-терригенных пород (O-S)	10	17	23	23
7	Нижнеордовикско-верхнекембрийский водоносный комплекс терригенных пород (Є <sub>3</sub> -O <sub>1</sub> )	20	26,4	22	43
8	Среднекембрийский водоносный комплекс терригенных, карбонатных и вулканогенных пород (Є <sub>2</sub> )	10	20	25	25
9	Нижнекембрийский водоносный комплекс осадочно-вулканогенных пород (Є <sub>1</sub> )	10	27	24	31
10	Верд-нижнекембрийский-водоносный комплекс кремнисто-карбонатно-терригенных пород (V-Є)	191	23	107	56
14	Протерозойский водоносный комплекс метаморфических сланцев (PR)	5	21	2	44
15	Совместные ВК четвертичных отложений и ВЗ девонских, кембрийских и венд-кембрийских пород	18	21	33	39
	Итого:	440	23,4	470	35,3

рогеологическом массиве (17 бк/л). Низкие значения радона здесь, по-видимому, объясняются структурно-тектоническими особенностями территории, менее напряженной тектоникой и отсутствием геологических образований с повышенными концентрациями радиоактивных элементов. Объемная активность радона в подземных водах в период сейсмических событий в разных типах вод изменялись от 4 до 266 бк/л (в единичных случаях до 2650 бк/л), составляя в среднем 35,3 бк/л. Агентство по охране окружающей среды США (USEPA) в качестве предельной величины содержания радона в воде рекомендует значение в 11,1 бк/л. Средние значения таковой в РА в спокойное время больше рекомендованной в 2 раза, а период сейсмической активизации до 5 раз.

Сопоставление активности радона на водозаборных скважинах в 2007 и 2008 гг. в городе Горно-Алтайске и в разных районах Республики Алтай в период афтершоковых событий (косейсмических) (Шабынин и др., 1988; Копылова, 2008) и в «спокойное» время показывает, что в первом случае устанавливаются аномальная объемная активность радона (от 2 - 5 до 50 раз выше по сравнению с фоновыми) (рис. 1,2). Большой разброс между концентрациями радона на опробованных водозаборах в период малоамплитудных сейсмических со-



**Рис. 1. Объемная активность радона в водозаборных скважинах г. Горно-Алтайска в 2007 г.**



**Рис. 2. Объемная активность радона в водозаборных скважинах Майминского, Турочакского и Чемальского районах в 2008 г.**

бытий, вероятно, имеет несколько объяснений: во-первых, местонахождение участка водозабора в сейсмически активной зоне, либо вне ее; во-вторых, структурно-тектоническое и геологическое строение его, в т.ч. характер водовмещающих пород; в третьих, интенсивность сейсмического события и расстояние до участка водозабора. В частности, наиболее

высокие значения радона в подземных водах устанавливаются на водозаборах г. Горно-Алтайска, который располагается в Катунской сейсмоактивной зоне, в зоне крупного Катунского глубинного разлома, и эксплуатирует трещиноватую водоносную зону карбонатно-терригенных пород венд-нижнекембрийского возраста. Аномальная объемная активность радона в подземных водах (до 2650 бк/л), была зафиксирована в период сейсмических событий малой амплитуды (3,4 балла), эпицентры которых находились в 250-360 км от водозаборов («дальняя зона»).

По нашим данным повышение концентраций радона в подземных водах РА в период малоамплитудных сейсмических событий (2,4-4,0 баллов) устанавливается за неделю до сейсмического толчка и до 10, реже 16 дней после.

В целом объемная активность радона в подземных водах города по некоторым водозаборам весьма высока и находятся на уровне ПДУ согласно требованиям «Норм радиационной безопасности» (НРБ-99), а в момент афтершоковых событий составляют 2-5 ПДУ. Представляется актуальным проводить регулярный мониторинг объемной активности радона в подземных водах, используемых для питьевого водоснабжения городского населения, что позволит своевременно реагировать на изменение сейсмической активности и предотвратить поставку населению некондиционной воды. Современная частота опробования на объемную активность радона в подземных водах не способна отражать ее изменение.

### **Литература**

*Гольдин С.В., Селезнев В.С., Еманов А.Ф. и др.* Чуйское землетрясение и его афтершоки // Доклады РАН, 2004, том 395, № 4.

*Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г. и др.* Чуйское землетрясение и его афтершоковый процесс в структуре сейсмичности Алтае-Саянской горной области // В сб. «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений». Материалы VI Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию». Сочи: 2005.

*Еманов А.Ф., Селезнев В.С., 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.

*Кац В.Е.* Влияние сейсмической активизации в Алтае-Саянском регионе на состоянии подземных вод (на примере Республики Алтай) // Материалы Международной научно-практической конференции «Гидрогеология в начале 21 века». Новочеркасск, 2006а.

*Кац В.Е.* Динамика гидрогеологических параметров подземных вод в Горном Алтае в результате Чуйского землетрясения // В сб. «Контроль и реабилитация окружающей среды». Материалы IV международного симпозиума. Томск: Институт оптического мониторинга СО РАН, 2004.

*Кац В.Е.* Состояние подземных вод в Республике Алтай в период сейсмической активизации в Алтае-Саянском регионе // В сб. «Основные проблемы охраны окружающей среды и благополучия человека в Сибирском Федеральном округе, перспективы их решения». Горно-Алтайск, ФГУЗ, 2006б.

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

*Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность в истории воды в земных недрах.* Новосибирск: Наука, 1982.

*Пронин А.П.* Качество подземных вод артезианских бассейнов в результате воздействия атмосферных осадков и геологических процессов // В сб. «Геология и охрана недр», 1997, № 1.

*Уткин В.И.* Радон и проблема тектонических землетрясений // Соровский образовательный журнал, 2000, том 6, № 12.

*Шабынин Л.Л., Найдич В.И., Зуляр Н.Г.* Влияние слабых землетрясений на режим подземных вод // В сб. «Исследования по поискам предвестников землетрясений в Сибири». Новосибирск: Наука, 1988.

*Шевченко Г.А., Кац В.Е.* О влиянии Алтайского землетрясения (Чуйского) на гидрохимический режим природных вод в районе Телецкого озера // В сб. «Современные проблемы геоэкологии горных территорий». Материалы III Международной научно-практической конференции, 2-4 октября 2008 г., г. Горно-Алтайск, 2008.

*Шитов А.В., В.Е. Кац, М.А. Харьковина.* Эколого-геодинамическая оценка Чуйского землетрясения // Вестник Московского университета, сер. геология, 2008, № 3.

*Шитов А.В., Кац В.Е., Ботьбух Т.Н.* О механизме изменения гидрохимического состава и температуры подземных вод в районе г. Горно-Алтайска в 2004-2005 гг. // Природные ресурсы Горного Алтая, 2006, № 2.