

## СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВИЗАЦИЯ И СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РЕСПУБЛИКЕ АЛТАЙ В 2003-2011 ГГ.

**В.Е. Кац, В.Ю. Молоков, Е.Н. Бондаренко, В.В. Ролдугин**  
ОАО «Алтай-Гео», ТЦ «Алтайгеомониторинг», с. Майма

Землетрясения на Алтае известны с давних времен: память о них сохранили как алтайские легенды, так и следы разломов, оползней, образовавшихся в результате подземных толчков. Предшественниками и индикаторами сейсмической активизации являются гидродинамический, температурный режимы подземных вод и их качественный состав. При этом изменение состава подземных вод может происходить на региональном, локальном, точечном уровне (скважинном). Факт влияния сейсмической деятельности на состояние подземных вод установлен многочисленными исследователями (Киссин, 1982; Копылова, Воропаев, 2005; Уткин, 2000; Шабынин и др., 1988). Сильное землетрясение, произошедшее 27 сентября 2003 г. на территории Горного Алтая, в долине р. Чуя в горной перемычке между Чуйской и Курайской впадинами, имело магнитуду по шкале Рихтера  $M=7,5$ . За инструментальный период сейсмологического наблюдений это самое крупное землетрясение на территории Алтае-Саянской складчатой области. Данное событие получило название «Чуйское (Алтайское) землетрясение» (Гольдин и др., 2004).

За прошедший период (до 2011 г.) было зафиксировано около 500 малоамплитудных событий, афтершоковый процесс развивается согласно закону повторяемости землетрясений, но с дефицитом крупных событий. 27 декабря 2011 г. сильное землетрясение с магнитудой 6,5 по шкале Рихтера произошло в Республике Тыва (АСР), эпицентр его находился в 100 км восточнее г. Кызыл.

Алтайское землетрясение и его малоамплитудные афтершоковые процессы воздействовали и продолжают оказывать негативное влияние на геологическую среду в целом и на гидросферу в частности (Кац, 2006; Кац и др., 2008; Кац, Драчев, 2009; Кац и др., 2010). Они влияют на состояние подземных вод, что в конечном итоге отражается на состоянии здоровья населения (Щучинов, Щучинова, 2010). Из опубликованных данных известно, что в период подготовки землетрясения (форшоковый период) происходят изменения в гидродинамическом, температурном режимах и в качестве вод. При этом, как правило, перед землетрясением наблюдается снижение уровня вод, а перед основным событием - аномальный подъем. Такое поведение режима вод может наблюдаться как кратковременно, так и в течение длительного времени. Характер температурного режима зачастую неоднозначный, наблюдается как положительная, так и отрицательная динамика. Влияния землетрясения на подземные воды, как правило, распространяется на значительные расстояния (сотни км) и зависит от глубины формирования эпицентра.

Анализ гидродинамического и температурного режимов в РА в 2011 г. показал, что указанные выше гидродинамические и температурные предвестники имели место в РА на ряде НП. Во-первых, в целом отрицательная динамика гидродинамического режима подземных вод в РА в 2011 г. проявлялась практически во всех наблюдаемых водных объектах в сравнении с таковыми в 2010 г. При этом понижения уровня вод в скважинах весьма существенны от 0,5 м и до 1 м, уменьшения дебита родников до 2,5 раз, что нельзя объяснить только недостаточным увлажнением в 2011 г. Во-вторых, на ряде наблюдательных пунктах в момент основного события Тувинского землетрясения (декабрь 2011 г.) отмечался факт подъема уровня вод, как в водах четвертичных отложений, так и в ВЗ палеозойских пород (рис.1, 2).

Аналогичная картина наблюдается при прослеживании температуры подземных вод в сейсмоактивных зонах. Так, в подземных водах на НП «Северном» в г. Горно-Алтайске

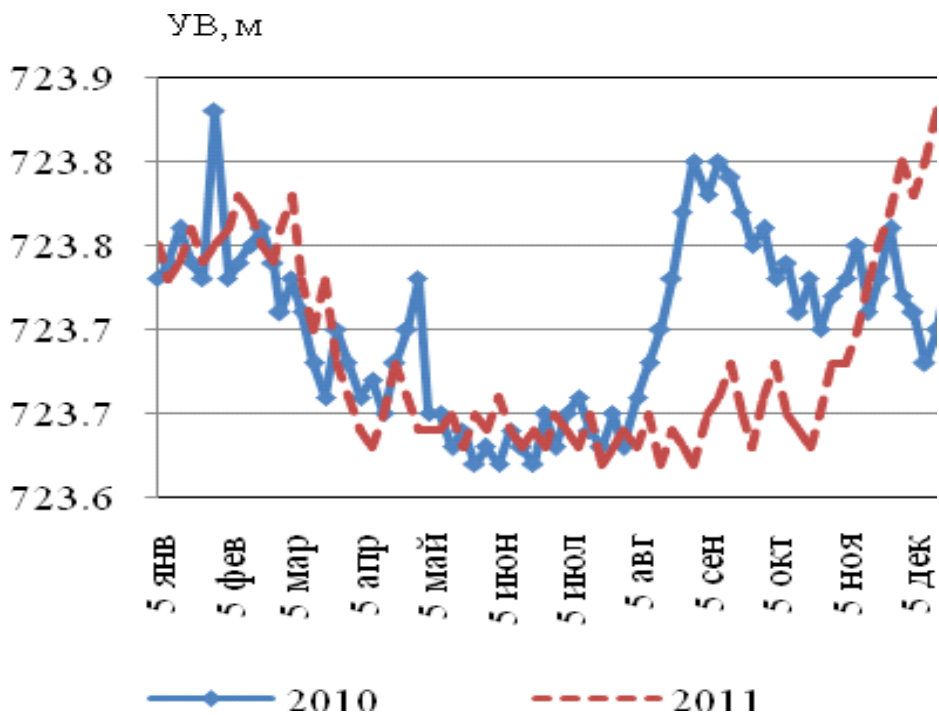


Рис. 1. Среднедекадная динамика уровня подземных вод палеозойских пород на НП в с. Черный Ануй в Усть-Канском районе РА в 2011 г.

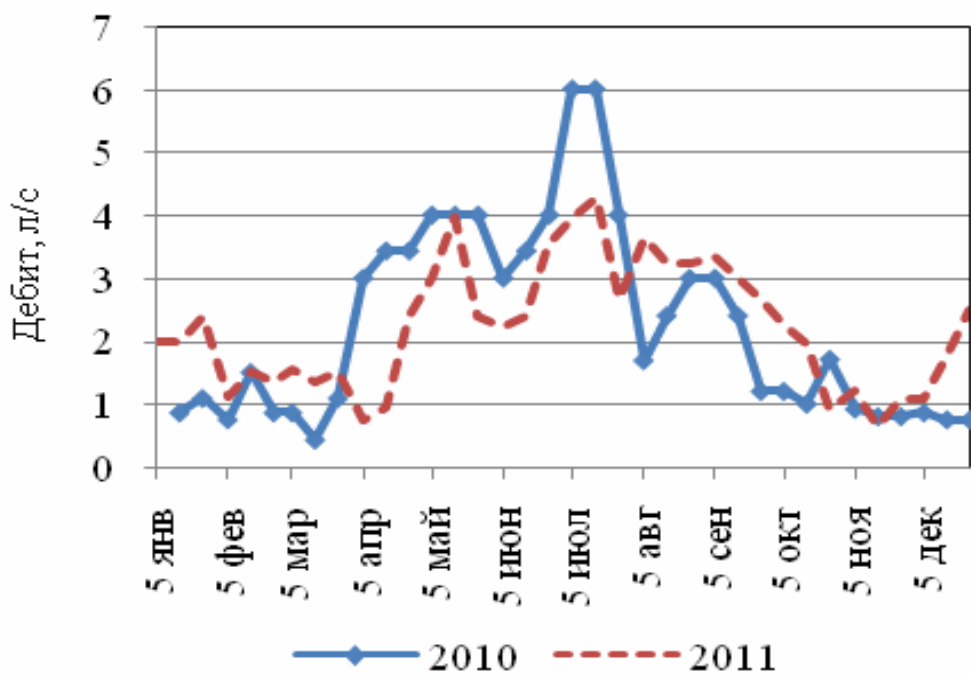
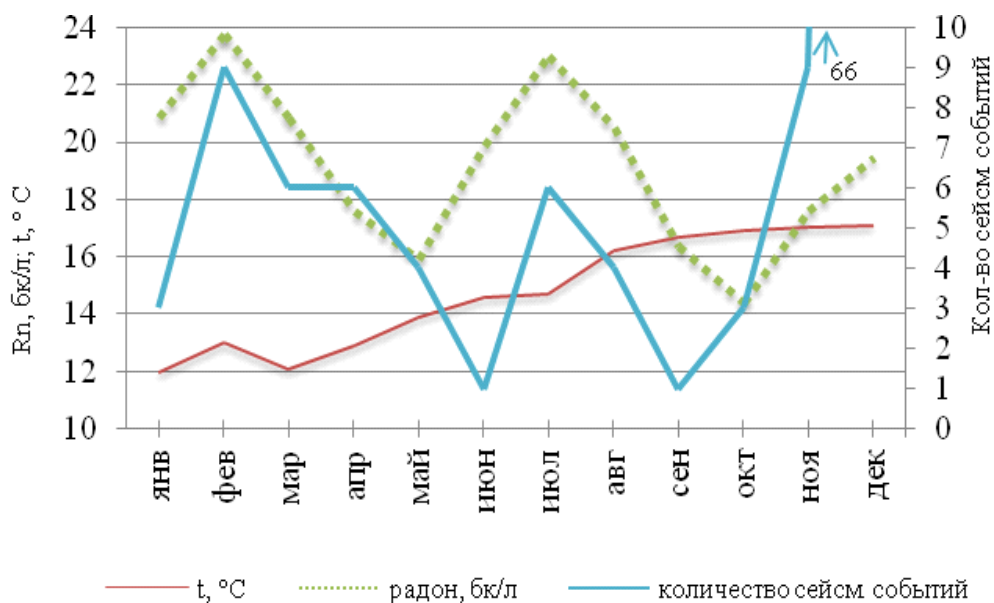


Рисунок 2. Среднедекадная динамика дебита родника Суозгинского в с. Суозга в Майминском районе РА в 2011 г.

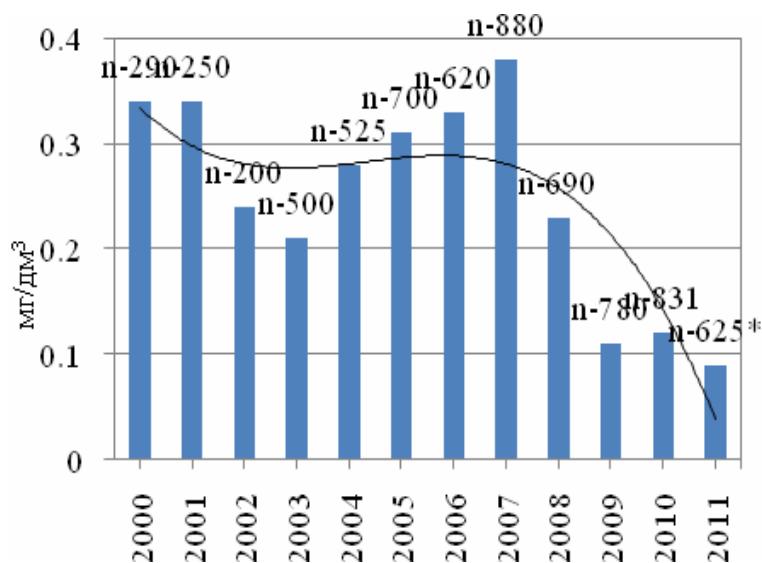


**Рисунок 3. Среднемесячная температура вод на НП «Северный» в г.Горно-Алтайске. Среднемесячная объёмная активность радона и малоамплитудные сейсмические события в Республике Алтай в 2011 г.**

после малоамплитудного события в 2004 г., эпицентр которого находился в 50 км, температура повысилась до 38 °С и в последующие годы понижалась (Кац и др., 2010). Отдельные всплески температуры на водном объекте пункта «Северный» увязывались с сейсмическими событиями. Интересная картина установлена на НП перед сильным Тувинским землетрясением в декабре 2011 г. Эпицентр землетрясения находился в 600 км от ПН. Увеличение температуры вод на НП началось в апреле 2011 г. и плавно росло до сейсмического события 27.12.2011 г. (рис.3).

Особенность всех опробованных после землетрясения подземных вод – наличие высокой цветности (62.0-117°С), значительная мутность (4.3-72 мг/дм<sup>3</sup>) и низкая прозрачность (6-26 см). Из химических показателей наиболее чутким индикатором сейсмичности в РА является радон. Нами проанализированы результаты определения радона в подземных питьевых водах, выполненные Радиологической лабораторией ФБГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по РА». Материалы по сейсмическим событиям любезно предоставлены сейсмологами СО РАН (г. Новосибирск). Объёмная активность радона в подземных водах РА за прошедший период варьировала от 4 до 2650 бк/л, при этом четко отмечено, что в период сейсмических событий абсолютные значения объёмной активности радона в воде увеличивались (рис.3) (Кац, Драчев, 2009). Фоновая активность радона в подземных водах Республики Алтай в разных водных объектах составляла до сейсмической активизации в среднем 23 бк/л, в период сейсмической активизации 35,3 бк/л (Кац, Драчев, 2009). В целом объёмная активность радона в подземных водах города по отдельным водозаборам высока и находится на уровне ПДУ согласно требованиям «Норм радиационной безопасности» (НРБ-99), а в момент афтершоковых событий составляет 2-5 ПДУ. Экологически значимыми показателями, влияющими на качество питьевых вод в афтершоковый период, помимо радона являются фтор, величина рН, окись кремния.

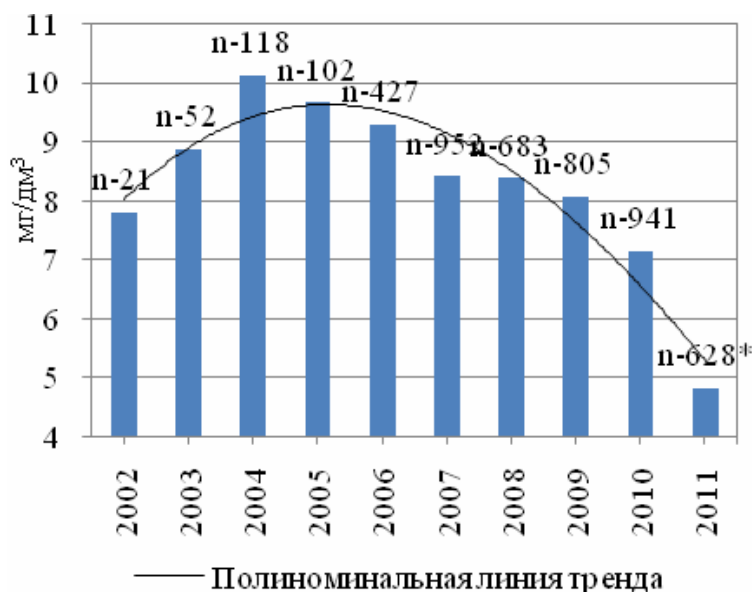
В афтершоковый период после основного события Алтайского землетрясения и до конца 2004 г. довольно четко проявились изменения в ионно-солевом составе подземных вод. Усложнился гидрохимический состав вод, возросла минерализация, характер вод значимо стал щелочным. Рост величины рН в подземных водах имел региональный характер, т.е. данный факт установлен как в водах эпицентральной части землетрясения, так и на



**Рис. 4.** Динамика среднегодовых концентраций фтора в подземных водах Республики Алтай в 2000-2011 гг.

питьевых водах уменьшились до 0,08 мг/л и находятся на уровне самых низких за 10-летний срок наблюдений и существенно ниже физиологических нормативов (рис. 4). Аналогичная картина прослеживается по концентрациям в питьевых водах окиси кремния. С 2004 г. идет уменьшение данного показателя в питьевых водах, в 2011 г. количество его составило 4,9 мг/л (при начальном 10,2 мг/л). Окись кремния является необходимым биогенным показателем питьевых вод (рис. 5). Значимыми индикаторами сейсмичности явились также такие микроэлементы как мышьяк, литий, сурьма, алюминий, бор, ртуть, концентрации которых достигали значений ПДК.

Для оценки физиологической полноценности питьевых вод в РА за период с 2000 по 2010 гг. нами рассчитан коэффициент полезности (Унифицированные методы сбора данных, 1996), представляющий собой аддитивную сумму отношений реальных среднегодовых концентраций кальция, натрия, фтора и минерализации вод к оптимальным величинам. Расчеты показали, что наименее оптимальной устанавливалась полезность вод в Республике Алтай в 2002-2003 гг., т.е. перед Алтайским землетрясением и в период основного события. В последующие годы и до настоящего времени в целом наблюдается уменьшение показателя физиологической полноценности питьевых вод в республике, основной негативной величиной при этом являются фтор, концентрации которого, как отмечалось весьма низки.



**Рис. 5.** Динамика среднегодовых концентраций оксида кремния в подземных водах Республики Алтай в 2000-2011 гг.

северной границе республики, в 300 км от эпицентра. С 2003 по 2006 гг. величина рН в питьевых водах РА в среднем составляла 8 единиц и в этот же период, по данным статистики, устанавливался рост болезней органов пищеварения.

Весьма низкие в целом концентрации фтора в питьевых водах РА в последние годы, по-видимому, объясняются также сейсмической активизацией в АСР в целом и в РА в частности. С 2007 г. прослеживается прогрессирующее понижение концентраций фтора в подземных водах. В 2011 г. средние концентрации фтора в

питьевых водах уменьшились до 0,08 мг/л и находятся на уровне самых низких за 10-летний срок наблюдений и существенно ниже физиологических нормативов (рис. 4). Аналогичная картина прослеживается по концентрациям в питьевых водах окиси кремния. С 2004 г. идет уменьшение данного показателя в питьевых водах, в 2011 г. количество его составило 4,9 мг/л (при начальном 10,2 мг/л). Окись кремния является необходимым биогенным показателем питьевых вод (рис. 5). Значимыми индикаторами сейсмичности явились также такие микроэлементы как мышьяк, литий, сурьма, алюминий, бор, ртуть, концентрации которых достигали значений ПДК.

Для оценки физиологической полноценности питьевых вод в РА за период с 2000 по 2010 гг. нами рассчитан коэффициент полезности (Унифицированные методы сбора данных, 1996), представляющий собой аддитивную сумму отношений реальных среднегодовых концентраций кальция, натрия, фтора и минерализации вод к оптимальным величинам. Расчеты показали, что наименее оптимальной устанавливалась полезность вод в Республике Алтай в 2002-2003 гг., т.е. перед Алтайским землетрясением и в период основного события. В последующие годы и до настоящего времени в целом наблюдается уменьшение показателя физиологической полноценности питьевых вод в республике, основной негативной величиной при этом являются фтор, концентрации которого, как отмечалось весьма низки.

Заключение. Активизация сейсмической деятельности в АСР в последнее десятилетие способствовала нарушению целостности геологической среды и подземной гидросферы. Это отражается на гидродинамическом, температурном режиме подземных вод и их гидрохимическом и микроэлементном составе.

### Литература

Гольдин С.В., Селезнев В.С., Еманов А.Ф. и др. Чуйское землетрясение и его афтершоки. // ДАН, 2004. Т. 395. № 4.

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г. и др. Пространственно-временной анализ сейсмичности Алтае-Саянской складчатой зоны // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия: Материалы международной геофиз. конф., г. Новосибирск, 15-19 сент. 2003 г. – Новосибирск, СО РАН, 2003.

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., А.В. Шитов, М.А. Харькина. Эколого-геодинамическая оценка Чуйского землетрясения // Вестник Московского университета, сер. 4, геология, № 3, 2008.

В.Е. Кац, С.С. Драчев. Радон в подземных водах в период сейсмической активизации в Алтае-Саянском регионе (на примере Республики Алтай) Радиоактивность и радиоактивные элементы в сфере обитания человека. Материалы III Международной конференции. – Томск: СТТ, 2009.

Кац В.Е., Шитов А.В. Драчев С.С. О механизме изменения химического состава и температуры подземных вод в районе Горно-Алтайска // Геология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2010. № 3.

Киссин И.Г. Землетрясение и подземные воды. – М. Наука, 1982.

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

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

Шабьнин Л.Л., Найдич В.И., Зуляр Н.Г. Влияние слабых землетрясений на режим подземных вод. Сб. Исследования по поискам предвестников землетрясений: Н, Наука, 1988.

Щучинов Л.В., Щучинова Л.Д. Влияние Алтайского (Чуйского землетрясения) на демографические процессы в Республике Алтай // Охрана окружающей среды и обеспечение благополучия населения Республики Алтай. Материалы научно-практической конференции. Горно-Алтайск, ФГУЗ по РА, 2010.

Унифицированные методы сбора данных, анализа и оценки заболеваемости населения с учетом комплексного действия факторов окружающей среды. Методические рекомендации (Утв. Госкомсанэпиднадзор РФ 26.02.1996 №01-19/12-17)