

УДК 550.348

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СИНЕГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И СВЯЗЬ С СЕЙСМИЧЕСКИМИ СОБЫТИЯМИ НА О. САХАЛИН

Г.А. Челноков¹, Р.В. Жарков², И.В. Брагин¹

¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН,
Владивосток, 690022;
e-mail: geowater@mail.ru

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

Впервые проведен мониторинг гидрогеохимических параметров подземных вод и почвенных газов Синегорского месторождения минеральных вод (о. Сахалин), позволивший обнаружить реакцию геологической среды на землетрясение $M=3$, 3.07.2015 г. Установлен факт снижения электропроводности воды в скважине в период подготовки землетрясения, а также последующий рост электропроводности воды и значительное увеличение эксхалаций почвенного радона. Впервые для о. Сахалин получены данные о том, как реагирует поле радона в пределах комплекса осадочных пород на прохождение волн местных землетрясений.

Введение

Приуроченность большинства месторождений минеральных вод юга Дальнего Востока России к глубинными тектоническим нарушениям доказана многочисленными исследованиями и не вызывает сомнений [7, 9, 10]. Проведенные работы выявили целый ряд крупных месторождений углекислых минеральных вод (Синегорское, Шмаковка, Ласточка, Мухен и пр.), которые являются маркерами глобальных зон разуплотнения в Земной коре, по которым глубинные газы достигают поверхности. Очевидно, что подобные природные объекты отражают состояние геологической среды и могут служить для организации мониторинга широкого ряда гидрогеохимических параметров. Предшествующие сейсмичности изменения в химическом составе подземных вод, сопутствующих газов, температуры и уровня воды обнаруживают пространственно временную связь с тектоническими напряжениями, потоками глубинных флюидов, изменением внутривещного давления в системе вода-порода-газ и собственно разрушением пород [5, 6, 12].

С 2014 г. на скважинах Синегорского месторождения (о. Сахалин) проводится мониторинг гидрогеохимических параметров: объемной активности радона (ОА Rn) в почвенном воздухе, электропроводности температуры и уровня воды. Целью исследований является установление зависимостей между изменением наблюдаемых параметров и сейсмическими событиями. Подобные наблюдения показали свою перспективность на Камчатке [3, 6], а для о. Сахалин проводятся впервые.

Методика

Непрерывные измерения параметров на опорном пункте Синегорского месторождения (скв. № 33) были проведены в период с 5.06.2015 по 5.09.2015 г. Для проведения наблюдений

за электропроводностью, температурой и уровнем воды в скважине использовались автоматические регистраторы-логгеры, канадской фирмы "Solinst". Логгеры запрограммированы на измерение параметров с интервалом одно измерение в 60 минут. Точность измерений составляет: электропроводность - 2%, $T=0,1^{\circ}\text{C}$, уровень 0,1 см. Датчики располагаются в скважине № 33 на глубине 50 м. Для исследований объемной активности (ОА) радона-222 и торона-220 в почве применяется сейсмическая радоновая станция СРС-05 производства НТМ-Защита, г. Москва. Измерение ОА радона-222 и количества распадов ^{216}Po (ThA) основано на электростатическом осаждении положительно-заряженных ионов ^{218}Po (RaA) и ^{216}Po (ThA) из отобранной пробы воздуха на поверхность полупроводникового детектора с помощью высокого положительного потенциала, поданного на электрод измерительной камеры. Активность радона-222 определяется соответственно по количеству зарегистрированных альфа-частиц при распаде RaA альфа-спектрометрическим методом (с сохранением альфа-спектра). Станция запрограммирована на измерение радионуклидов в почве с сохранением всех результатов измерения с интервалом 1 раз в 20 минут, а также измеряет температуру, относительную влажность и атмосферное давление. Диапазон измерения ОА радона-222 от 20 до 50000 Бк/м³. Диапазон измерений количества распадов ^{216}Po (ThA) от 1 до 999. Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения ОА радона-222 и количества распадов ^{216}Po (ThA) не превышают $\pm 30\%$ при доверительной вероятности 0.95. Прибор расположен в заборной емкости, ниже зоны аэрации.

Подобное оборудование наблюдательного пункта не позволяет оперативного выявления изменяющихся параметров и прогноза сейсмических событий, но дает возможность наблюдать реакцию водоносного горизонта и геологической среды на различные по интенсивности сейсмические события. Подобная "калибровка" позволяет выбирать из большого числа опробованных объектов (скважин) наиболее информативные для размещения стационарных наблюдательных пунктов.

Характеристика объекта

Синегорское месторождение углекислых минеральных вод расположено в 20 км от г. Южно-Сахалинск, в меридионально вытянутой долине, ограниченной с востока Сусунайским хребтом, а с запада отрогами Южно-Камышового хребта, в пределах Анивского прогиба.

В геологическом строении территории выделяются два структурных этажа – мезозойский и кайнозойский. Геологическое строение мелового комплекса хорошо изучено в ряде работ [1, 4]. Основными породами, слагающими меловой разрез являются (снизу вверх по разрезу): слюдисто-кварцевые сланцы, метаэффузивы, ортосланцы, мраморы и кварциты, алевриты, аргиллиты, песчаники, глинистые аргиллиты, туфы и туффиты. Все породы меловой системы накапливались в морских условиях. Кайнозойский осадочный чехол сложен породами эоцен-четвертичного возраста, в составе которого отложения аракайской, холмской, невельской, курасийской, маруямской свит. Образования первых трех свит входят в комплекс нерасчлененной толщи, состоящей из терригено-вулканических, алеврито-аргеллитовых, туфогенных по-

род. С размывом на этой толще залегают отложения маруямской свиты позднемиоцен-плиоценового возраста, представленные глинистыми, песчано-аллевроитовыми породами, глинами, песками.

Центрально-Сахалинский разлом (ЦСР) взбросо-надвигового типа является западной границей Анивского прогиба. Интенсивно проявленная здесь разрывная тектоника и складчатость, обусловлена надвигообразованием в зоне разлома. Эту часть прогиба выделяют как приразломную пликративно-дизъюнктивную зону [8]. Возникшими при надвигах сдвиговыми разрывами ЦСР разбит на отдельные фрагменты, имеющие разные амплитуды смещения, кинематику и т.п. Этим региональным надвигам соответствуют грязевой вулканизм, глинистый диапиризм. Так, на южном участке ЦСР ярко проявлен Южно-Сахалинский грязевой вулкан.

С гидрогеологических позиций к южной части Центрально-Сахалинского разлома приурочен Сусунайский артезианский бассейн. Гидрогеологические условия территории очень сложные, обусловлены зонально-блоковым строением, трещинной проницаемостью. Зона активного водообмена составляет не более 100м от поверхности и обусловлена экзогенной трещиноватостью. В артезианском бассейне выделяются водоносные комплексы, приуроченные к породам от палеозоя до четвертичного возрастов. Породы четвертичного и позднеплиоценового возрастов представлены слабо сцементированными песчаниками, аргиллитоглинистыми отложениями с прослоями алевролитов и конгломератов. Породы старше позднеплиоценового возраста имеют скальный облик и сложены плотными алевролитами, песчаниками, метаморфическими сланцами, аргиллитами, туфами и пр. Породы сильно трещиноваты, смяты в складки, разбиты разломами различной ориентировки.

Геохимия подземных флюидов южной части Центрально-Сахалинского разлома подробно описана нами в ходе выполнения подготовительных работ в 2014 г. [8]. По составу Синегорские воды являются гидрокарбонатно-хлоридными натриевыми, обогащёнными мышьяковистой и кремнистой кислотами, имеют повышенное содержание ортоборной кислоты, метакремниевой кислоты, pH – 6.1-6.7, температура – от +8.5°C до +11°C, минерализация – 17-25 г/дм³. По газовому составу воды углекислые (CO₂–1.2-2.5 г/дм³), с примесью метана и азота.

Опорным пунктом наблюдений является скважина № 33 Синегорского месторождения углекислых минеральных вод. Скважина имеет глубину 76 м, электропроводимость на этой глубине является максимальной и составляет 18904 мкСм, температура 10,8°C. Вода по химическому составу йодо-бромная гидрокарбонатно-хлоридная натриевая (Cl–72 мг-экв %; HCO₃ –28 мг-экв %; Na– 91 мг-экв %), борная, кремнистая, с органическими веществами, углекислая (содержание CO₂ –47-87 объ.%, CH₄–36-12 объ.%). Содержание Орг. характерно для грунтовых вод и вод непродуктивных горизонтов газовых месторождений.

Результаты и обсуждение

Непрерывные измерения параметров на опорном пункте Синегорского месторождения (скв. № 33) были начаты 5.06.2015 г. и остановлены 5.09.2015. Выбор места расположения станции обусловили низкие фоновые концентрации ОА почвенного радона составляющие 66-

200 Бк/м³, по которым предполагалось выделить лунные циклы и влияние атмосферного давления, а также различные по масштабу потоки радона. Короткоживущего радионуклида торона (55 сек) в потоке газов не отмечалось. В скважину были опущены датчики регистрирующие электропроводность, температуру и уровень воды, также был установлен барометрический датчик регистрирующий атмосферное давление.

Анализ полученных результатов выявил несколько особенностей: 1. с момента начала регистрации значения электропроводности падали до определенного момента, после которого стали стабильно повышаться; 2. примерно в это же время зарегистрировано резкое увеличение ОА радона и торона; 3. поведение температуры и уровня воды в скважине не имело характерных особенностей за весь период регистрации. Момент изменения геохимических параметров относился к началу июля 2015 г.

Согласно данным "СПРАВКИ о сейсмичности зоны ответственности СФ ГС РАН" в июле 2015 года в Сахалинском регионе зарегистрировано три землетрясения, все они произошли на юге острова. Первое, зарегистрированное 3 июля в 21:07 UTC ($K_c = 9.4$; $H = 11$ км), ощущалось в п. Синегорск с интенсивностью в 3-4 балла, в пп. Быков, Углезаводск, Санаторный – 3 балла, п. Ёлочки – 2-3 балла, г. Южно-Сахалинск и Холмск и п. Пятиречье – 2 балла. Второе и третье произошли 25 июля в 14:45 и 15:43 UTC ($K_c = 7.6$ и 5.8 , $H = 8$ км) и ощущались в г. Южно-Сахалинск в 3 и 2 балла соответственно.

Сопоставление данных по изменению гидрогеохимических параметров и временем сейсмических событий позволило установить связь между землетрясением произошедшим 3.07.2015 г. и зафиксированными изменениями геологической среды (рис. 1).

Как видно из графика на рис 1, за 25 дней до сейсмического события началось резкое уменьшение электропроводности воды, сменившееся через 10 дней кратковременным увеличением, которое вскоре снова сменилось падением, теперь уже до минимальных значений. С 26.06.2014 амплитуда колебаний электропроводности значительно уменьшилась до 60 мСм, а произошедшее 3.07.2015 землетрясение запустило процесс роста электропроводности, продолжавшееся до конца измерений. Схемы подобного поведения электропроводности, уровня воды или геохимических индикаторов достаточно хорошо описаны в научной литературе [5, 3] и основаны на том, что при подготовке сейсмического события происходит изменение напряженного поля среды, в результате чего может происходить усиление или ослабление истечения радона, изменение уровня вод, либо их состава. В активных разломных зонах может происходить как насыщение, так и разбавление подземных вод различными газовыми и жидкостными флюидами, что изменяет химический состав подземных вод. Полученные данные показывают, что в период подготовки землетрясения происходило постепенное изменение динамических полей напряжений в регионе. В результате форшоковых растяжений могли открываться трещины для поступления пресной воды, обуславливающей падение электропроводности. Афтершоковое сжатие напротив могло сопровождаться растрескиванием массивов горных пород, в том числе и интрузивных, что в итоге привело к повышению уровня эманирования радона.

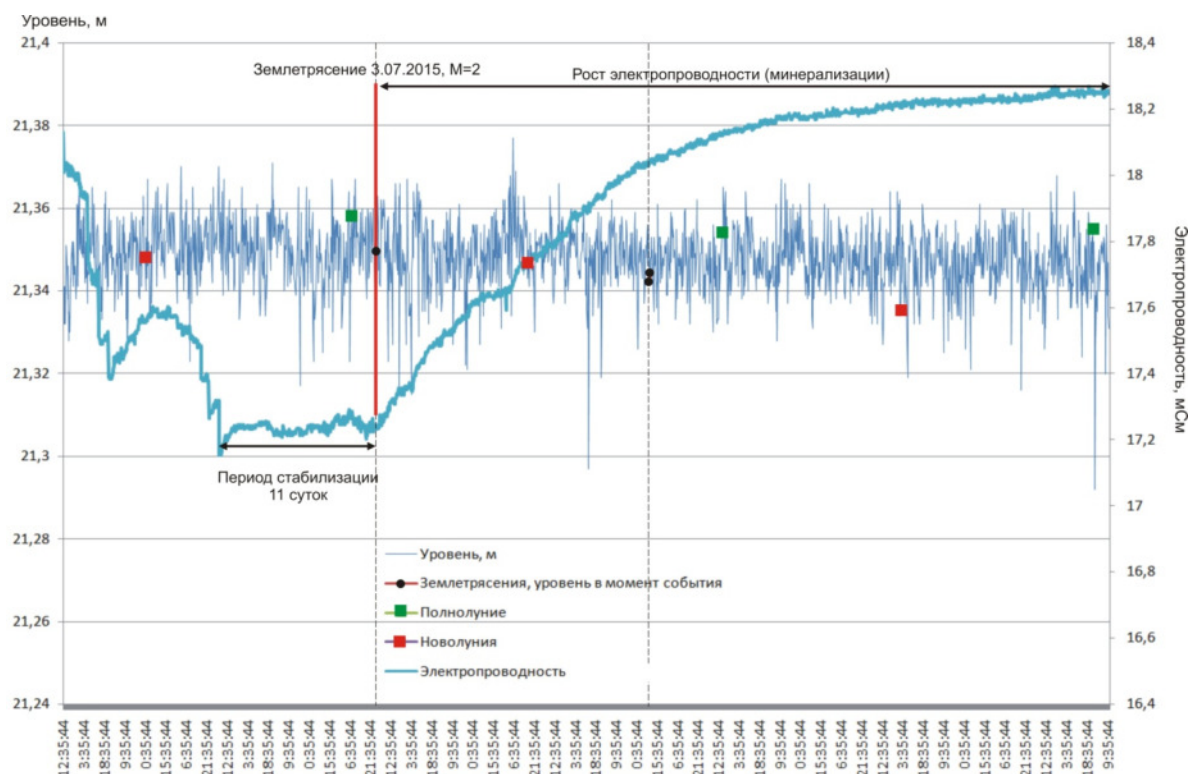


Рис. 1. Поведение уровня и электропроводности воды в наблюдательной скважине № 33 и сопоставление с данными о положении Луны и времени сейсмических событий

Резкий скачок ОА радона и торона был зарегистрирован спустя 41 час после землетрясения, произошедшего 3 июля 2015 г. (рис. 2). Зарегистрированные значения в 10 раз превышали верхние диапазоны измерения ОА радона, указанные в паспорте СРС-05, и составляли 620 000 Бк/м³. Спустя 57 часов значения торона также превысили диапазоны измерений в 20 раз (21439 распадов против 999 по паспорту прибора) (рис. 3). После этого, на восстановление фонового уровня торона потребовалось около 3 суток, в то время как для более долгоживущего радона около двух недель (до 20.07.2015). Наблюдаемые результаты показывают нелинейность выхода радона в зависимости от изменения напряженного состояния среды, что также подтверждено результатами ученых в различных регионах мира [2, 5, 11]. Нами, впервые для о. Сахалин получены данные о том как реагирует поле радона в пределах комплекса осадочных пород на прохождение волн местных землетрясений в непосредственной близости от пункта наблюдений. Сейсмическая активность 25 июня на данном объекте отражения не имела. В соответствии с записями прибора до 31.08.2015 никаких значительных колебаний активностей радионуклидов не зарегистрировано. Вероятно это связано с геоструктурными условиями и расположением очагов землетрясений. Отметим также, что для скважины № 33 реакция на сейсмическое событие никак не выражалась в изменении уровня воды. Колебания уровня были хаотичны, как в суточном, так и в более длительных циклах, и не превышали 7 см. На рис. 1 видно, что в полнолуние уровни в скважине находятся стабильно выше, чем в новолуние.

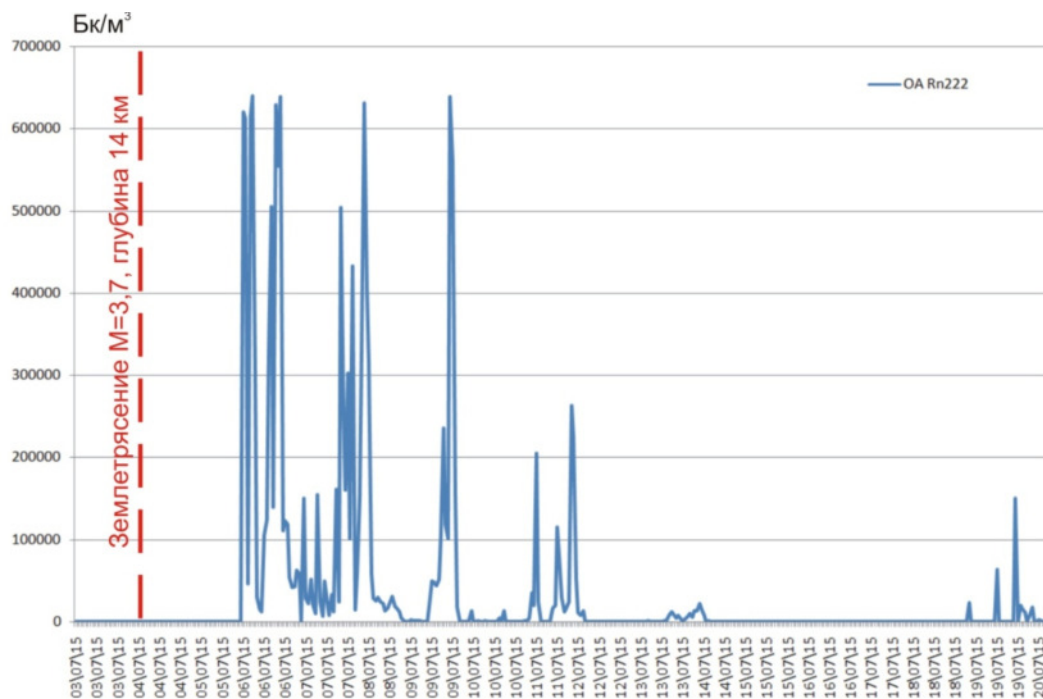


Рис. 2 Постсейсмические колебания уровней объемной активности Rn-222

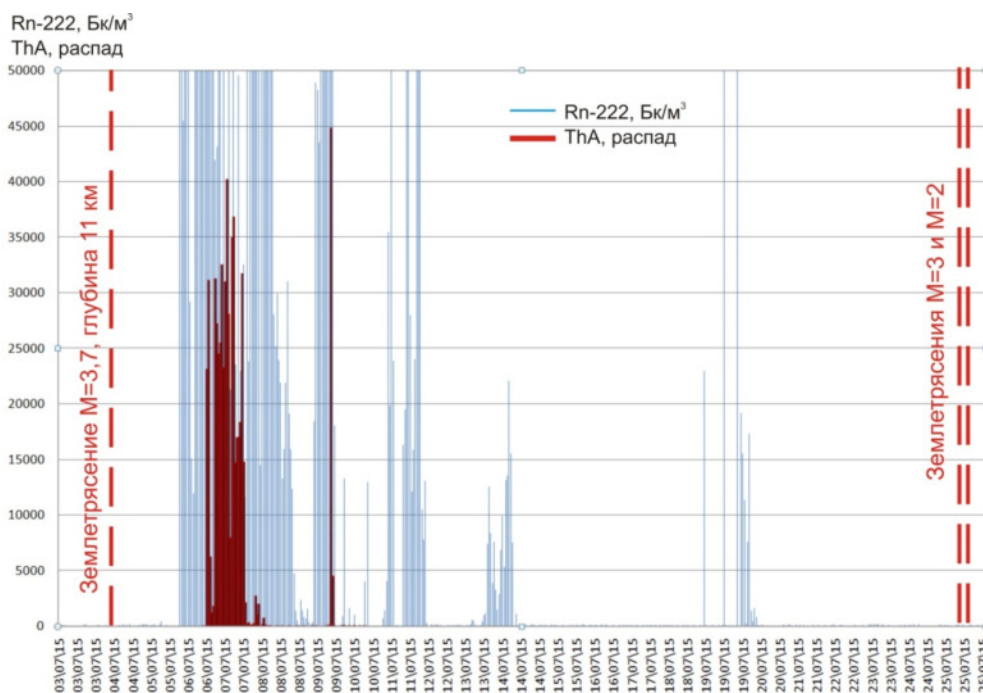


Рис. 3. Скорректированный график активности радона и торона между сейсмическими событиями 03.07.2015 и 25.07.2015

Выводы

Одним из важнейших результатов исследований стало получение гидрогеохимических и газогеохимических эффектов на землетрясение $M=3$, 03.07.2015. Полученные характеристики зависят от многочисленных факторов и могут быть различны даже у скважин, располо-

женных рядом. Таким образом, выбор объекта (скважины) для наблюдений не может быть сделан без проверки реальными сейсмическими событиями, т.н. калибровки, которая дает оценку прогностическим возможностям наблюдательного пункта.

Работа выполнена при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований № 14-05-00243А, № 14-05-00171А и ДВО РАН № 15-И-2097.

Список литературы

1. Геология СССР. Т. XXXIII. Остров Сахалин. Геологическое описание. М.: Недра, 1970. 432 с.
2. *Закиров Т.З.* Особенности распределения концентрации радона в подземных водах некоторых сейсмоактивных зон Узбекистана (в связи с поисками предвестников землетрясений): Автореф. канд. дис. Ташкент, 1984. 184 с.
3. *Копылова Г.Н., Болдина С.В.* Аномальные изменения химического состава подземных вод в связи с Камчатским землетрясением 02.03.1992 г. (Mw=6.9) // Геофизические исследования. 2012. Т. 13. № 1. С. 39-49.
4. *Мельников О. А.* Геологические формации Хоккайдо – Сахалинской складчатой области. Владивосток, 1988. 213 с.
5. *Уткин В.И., Юрков А.К.* Радон-надежный индикатор геодинамических процессов // Вестник КРАУНЦ Науки о Земле, 2009, № 1, вып. 13, С. 165-169.
6. *Фирстов П.П.* Возможности прогноза сильных землетрясений по данным радонового мониторинга на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне // Вестник КРАУНЦ Науки о Земле, 2014, № 1, вып. 23, С. 35-49.
7. *Челноков Г. А., Харитоновна Н. А.* Углекислые минеральные воды юга Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2008. 165 с.
8. *Челноков Г.А., Жарков Р.В., Брагин И.В., Веселов О.В., Харитоновна Н.А.* Геохимические характеристики подземных флюидов южной части Центрально-Сахалинского разлома // Тихоокеанская геология, 2015, том 33 №1, С. 115-117
9. *Чудаев О. В.* Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2003. 203 с.
10. *Bragin I.V., Chelnokov G.A., Chudaev O.V., Kharitonova N.A., Vysotsky S.V.* Geochemistry of Thermal Waters of Continental Margin of Far East of Russia // Acta Geologica Sinica, 2016, Vol. 90 № 1 pp.276–284.
11. *Chaudhuri H., Bari W., Iqbal N., Bhandari R.K., Ghose D., Sen P., Sina B.* Long range gas-geochemical anomalies of a remote earthquake recorded simultaneously at distant monitoring stations in India // Geochemical Journal, 2011, Vol. 45, pp. 137-156
12. *Parotidis, M., Rothert, E. and Shapiro, S. A.* (2003) Pore-pressure diffusion: A possible triggering mechanism for the earthquake swarms 2000 in the Vogtland/NW Bohemia, central Europe. Geophys. Res. Lett. 30, 2075, doi:10.1029/ 2003GL018110.