

Перегородки и стенки выполнены кальцитом, гётитом с включениями барита. Неразрушенные камеры выполнены кальцитом и гётитом, разрушенные — мергелем оранжевого и красновато-коричневого цвета, связанного с микровключениями гётита. Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания, масс. %: Sr — 0,120 и Ni — 0,054, Cu — 0,062, Zn — 0,016, Pb — 0,016, V — 0,011. Для кальцита характерны низкие содержания Mg, Fe, Sr и отсутствие Mn.

Среднеюрские аммониты имеют небольшие размеры, контрастную цветовую гамму, сочетающую черные, желтые, оранжевые, белые, серые, красновато-коричневые цвета, положительные технологические характеристики, позволяющие широко использовать их в ювелирных изделиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бетехтин, А.Г. Минералогия / А.Г. Бетехтин — М.: Госгеолтехиздат, 1950. — 675 с.
2. Буканов, В.В. Цветные камни. Энциклопедия / В.В. Буканов — СПб, 2008. — 416 с.
3. Петроченков, Д.А. Особенности отработки верхнедевонских ювелирно-поделочных аммонитов Марокко / Д.А. Петроченков // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 2. — С. 34–41.
4. Петроченков, Д.А. Ювелирно-поделочные аммониты: проблемы оценки и перспективы добычи / Д.А. Петроченков, Л.З. Быховский // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2018. — № 4. — С. 15–22.

5. Слукин, А.Д. Латеризированные карбонатиты и ассоциирующие с ними осадочные каолины и бокситы с высокими содержаниями REE, Nb, Ti и других элементов (Чадобецкое поднятие Сибирской платформы) / Прикладная геохимия. Вып. 7: Сб. научных статей / А.Д. Слукин — М.: ИМГРЭ, 2005 — 368 с.
6. Bockwinkel, J. Upper Givetian ammonoids from Dar Kaoua (Tafilalt, SE Anti-Atlas, Morocco) / J. Bockwinkel, R.T. Becker, V. Ebbighausen // Berliner paläobiologische Abhandlungen. 2009. — V. 11. — P. 61–128.
7. Bockwinkel, J. Late Givetian ammonoids from Hassi Nebech (Tafilalt Basin, Anti-Atlas, southern Morocco) / J. Bockwinkel, R.T. Becker, V. Ebbighausen // Fossil Record. — 2013. — V. 16(1). — P. 5–65.
8. Bourillot, R. Early-Middle Jurassic Lytoceratid ammonites with constrictions from Morocco: palaeobiogeographical and evolutionary implications / R. Bourillot, P. Neige, A. Pierre, C. Durllet // Paleontology. — 2008. — V. 51. — Part 3. — P. 597–609.
9. Ebbighausen, V. Morphometric analyses and taxonomy of oxyconic Goniatites (Paratornoceratinae n. subfam.) from the Early Famennian of the Tafilalt (Anti-Atlas, Morocco) / V. Ebbighausen, R.T. Becker, J. Bockwinkel // Abhandlungen Der Geologischen Bundesanstalt. — 2002. — V. 57. — P. 167–180.
10. Hammichi, F. Toarcian-Aalenian ammonite faunas of the southwestern Middle Atlas (Morocco). Les faunes d'Ammonites du Toarcien-Aalénien du Moyen Atlas sud-occidental (Maroc) / F. Hammichi, K. Benshili, S. Elmi // Revue de Paléobiologie, Genève. — 2008. — V. 27(2) — P. 429–447.
11. Klud, C. Early Emsian ammonoids from the eastern Anti-Atlas (Morocco) and their succession / C. Klud // Paläontologische Zeitschrift. — 2001. — V. 74. — P. 479–515.

© Петроченков Д.А., Иоспа А.В., Кривощёков Н.Н., 2020

Петроченков Дмитрий Александрович // p-d-a@mail.ru
Иоспа Анастасия Владимировна // ada-heals@mail.ru
Кривощёков Николай Николаевич // vims-niknik@mail.ru

ГЕОФИЗИКА

УДК: 550.343; 556.38; 556.5.01; 550.37

Манукьян В.А (ЗАО «Спецгеоэкология»)

ГЕНЕЗИС ПОДПОЧВЕННОГО РАДОНА И ЕГО МОНИТОРИНГ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ИНДИКАЦИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ЗОНАХ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

Рассмотрено аномальное положение подпочвенного радона в современных тектонических нарушениях зоны аэрации, его генезис, взаимодействие с региональными и глобальными сейсмическими событиями, приливными процессами, взаимосвязь с подземными водами и атмосферным давлением, приуроченность радоновых аномалий к авариям на промышленных сооружениях, влияние аномалий на биологические объекты. **Ключевые слова:** современные тектонические нарушения, зона аэрации, подпочвенный радон, гамма-картаж скважин, мониторинг природных параметров, напряженно-деформированное состояние, дихотомия деревьев, электромагнитные импульсы.

Manukyan V.A. (Spetsgeoeкологиya)

GENESIS OF UNDERGROUND RADON AND ITS MONITORING FOR EFFECTATIVE INDICATION OF STRESS-DEFORMED STATE OF EARTH CRUST IN ZONES OF MODERN TECTONIC DISTURBANCES

*The subject of this article concerns the anomalous position of the subsurface radon in modern tectonic breaks of the zone above free water level, genesis, interaction with the regional and global seismic events, tidal processes, relationship with groundwaters and atmospheric pressure, coincidence in time of radon anomalies and industrial incidents, the influence of these anomalies on biological objects. **Keywords:** modern tectonic breaks, zone above free level water, subsoil radon, gamma-radiation well logging, monitoring of natural parameters, stress strain state, doubling trunks, electromagnetism impulses.*

Введение

Автор отталкивается от классических работ А.А. Спивака [1, 13] об основных источниках радона — обогащенных ураном по всему разрезу — от юрских глин до архейских гранитов. П.С. Микляев [10]

не связывает подпочвенный радон с флюидодинамическими зонами разгрузки глубинных газов, считая, что глубина его выноса к поверхности не превышает 5–8 м (у А.А. Спивака — 11 м). В.Н. Николаевский [12] предполагает, что концентрация подпочвенного радона обусловлена источниками, расположенными на уровне грунтовых вод.

Сделана попытка детализировать перечисленные положения на объектах Москвы и Подмосковья для уточнения генезиса радона и анализа его поведения под воздействием динамики напряженно-деформированного состояния (НДС) земной коры (ЗК).

Материалы и методы

Исследованиями были охвачены следующие площади:

- бассейн р. Цна Егорьевского района — СНТСН «Цна»;
- г. Москва, метро «Речной вокзал», Ленинградское шоссе, д. 92 А;
- Химкинский район, водозаборные узлы (ВЗУ) и трубопроводы;
- г. Новогорск, ВЗУ УТЦ и «Куркинский» родник у р. Сходня.

Период исследования включает 2015–2019 гг. и обработку данных полевых работ 2007–2009 гг., отраженных в моих статьях 2010–2012 гг. [8, 9]. Общая геолого-геофизическая информация следующая: структурно-геоморфологическая карта Москвы [11], карта геодинамического районирования Московской области [2], карта аномалий Подмосковья [5], морфоструктурная карта северо-запада Подмосковья [8], колонки скважин и каротажные диаграммы ВЗУ Подмосковья.

Используемая геофизическая аппаратура: прибор RST88777 (Designed by RTS in Sweden), который позволяет фиксировать атмосферное давление каждые 20 мин. с точностью до 11 мм р.с.; многоканальный геофизический регистратор естественных электромагнитных импульсов Земли МГР-01 (сертификат N 24184); детектор-индикатор радона SIRAD MR-106N NN 5121400552 и 5031600691 (выпуск 2015 и 2016 гг.), который определяет эквивалентную объемную активность (ЭРОА) дочерних продуктов изотопов радона-222 в воздухе по величине объемной активности (ОА) радона в Бк/м³ с установленным значением коэффициента равновесия (0,5) между радоном и дочерними продуктами распада. Длительность каждого замера — 4 часа.

Прибор Radon Scout Home предназначен для длительного измерения радона в воздухе (6 замеров в сутки) (зав. N RSCH-00295).

Калибровка обоих приборов производилась в лаборатории № 421 НИС-4 ФГУП «ВНИИФТРИ» ученым-хранителем эталона С.Г. Бирюковым. Ошибка измерений последнего прибора по сравнению с эталоном — в пределах 2–4 % при активности эталона $3,88 \times 10^4$ Бк/м³. ЭРОА первого прибора отличается от эталона в 3,82 раза. Были проведены дополнительные испытания альфа-активности радона на угольных колонках, установленных на глубине 0,6–0,8 м в скважи-

не у «Речного вокзала» для сравнения с показателями ЭРОА в той же скважине. В первом опыте соотношение показателей равно 3,8 (3 колонки), во втором опыте 3,19 (9 колонок). Таким образом, показания альфа-активности радона прибором Radon Scout Home близки к истине, а показания прибора MR-106N занижают альфа-активность радона минимум в 3,19 раза, хотя правильно отражают относительные колебания активности радона.

Определение радона в водных пробах производилось в сертифицированных МАГАТЭ лабораториях ВГУП «Радон» и на кафедре радиохимии МГУ (проф. Ю.А. Сапожников).

Для проходки скважин глубиной 1 м использовался ручной бур диаметром 100–120 мм. Источник информации о землетрясениях — на сайте www.ceme.gsgas.ru Геофизической службы РАН. Информация о колебаниях атмосферного давления получена по данным метеостанции «Москва» на сайте «Расписание погоды», gr5.ru.

Основные исполнители: к. геол.-мин. наук Манукьян В.А. — автор текста и всех полевых работ, инженер-гидрогеолог Мухина Т.С. — оператор на участке «Цна» (2017 г.)

Ленинградские специалисты различных професий опубликовали в Интернете в 2000 г. информацию о влиянии современных тектонических нарушений с аномальной активностью подпочвенного радона на дихотомию деревьев. Это положение учитывалось в наших разведочных работах.

Полевая разведка современных аномалий радона на участке № 1 («Цна») производилась в 2015 г. с использованием карты И.В. Батугиной [2] и карты аномалий Подмосковья [5]. Разведочный профиль длиной 250 м был ориентирован вкост современному нарушению III порядка. Скважины глубиной 1 м проходились ручным буром шагом 19 м (ширина дачного участка), для замера активности радона (ЭРОА) применялись приборы MR-106N немедленно после бурения. Экспозиция прибора — 4 часа при полностью закрытом устье. После проходки профиля из всех действующих колодцев, расположенных на участках, был произведен отбор проб воды в течение 30 мин. погружными насосами в заполняемые доверху полиэтиленовые бутылки объемом 0,5 литра. Доставка проб в лабораторию производилась менее, чем за 12 часов с момента отбора. Неделей позже было повторно отобрано 2 пробы на контрольный анализ, включая пробу из скважины, пробуренной на известняки.

Участок № 2 был намечен у метро «Речной вокзал» по положению современного нарушения, ориентированного параллельно ул. Фестивальная поперек Ленинградского шоссе [3, 11] с использованием биологического признака наличия подпочвенного радона — дихотомии деревьев. Нами был получен детальный геолого-литологический профиль на глубину до 38 м — проектная документация рядом строящегося дома. Для полевых исследований была пройдена 1 скважина глубиной 1 м. В августе 2017 г. в районе

метро «Октябрьское поле» был установлен прибор МГР-01, фиксирующий колебания ЭМИ на северо-западе Москвы.

Третий участок в районе Химок расположен рядом с июльской 2018 г. точкой разрыва трубопровода диаметром 300 мм на глубине 3 м. В августе 2018 г. в 10 м от точки разрыва была пройдена наблюдательная скважина глубиной 1 м.

Четвертый участок находится у окружной дороги — ВЗУ «Южный», через который проходит современное тектоническое нарушение. На этой территории пройдена 1 опытная скважина глубиной 1 м и установлен прибор МГР-01 непрерывной регистрации ЭМИ.

Пятый участок — ВЗУ УТЦ г. Новогорск расположен на правом берегу р. Сходня. Через одну из переburенных скважин водозабора проходит современное нарушение (рис. 9) [8]. На старой эксплуатационной скв. № 2 в 2019 г. установлен второй прибор МГР-01.

В 2019 г. для изучения связи подпочвенного радона и радона в подземных водах были опробованы и проанализированы пробы воды в роднике «Куркинский», который расположен на современном нарушении, а также в действующих водозаборных скважинах ВЗУ УТЦ, ВЗУ МСЧ119, ВЗУ ООО «Мережи», ВЗУ «Южный». Приборы Radon Scout Home для проведения мониторинга радона устанавливались в 2018 г. на первом и втором участках, в 2019 г. — на участке ВЗУ «Южный» и в дренажном колодце ВЗУ ООО «Мережи».

Методика наблюдений прибором MR-106N в мае-июне 2017 г. на участке № 1 — ежедневный замер в 12–13 часов МСК, на участке № 2 — в мае-июне 2017 г. в 12–13 часов МСК, в августе-сентябре 2017 г. — в 6–7 часов и в 12–13 часов МСК ежедневно. На участке № 3 прибором MR-106N в августе 2018 г. было произведено 4 замера в течение недели (2 утром и 2 днем).

Методика анализа данных по пространственному распределению радона и гелия в предыдущих наших исследованиях 2007–2009 гг. будет представлена позже. Методика переинтерпретации данных комплексного каротажа была применена на аналогичных работах в глубоких скважинах Астраханского газоконденсатного месторождения. Мониторинг результатов повторного каротажа в скв. № 407 и 102 позволил сделать важные выводы: возрастание или колебание во времени гамма-активности некоторых литологических разностей свойственно преимущественно проницаемым песчаникам и связано с динамикой НДС ЗК близ современных нарушений.

Для методики выбора землетрясений, связанных с колебаниями ЭМИ и показаниями активности радона, использовались два фактора — наличие землетрясений в «активном» для Москвы секторе — от Польши и Италии до Турции и Ирана ($M \geq 4$), а также все глобальные землетрясения с $M > 6$ [4].

Результаты исследований

На участке «Цна» в разрезе преобладающий состав четвертичных отложений до глубины 10–15 м — пески м/з и с/з, реже супеси с прослоями суглинков; под ними меловые пески до глубины 30–35 м и черные

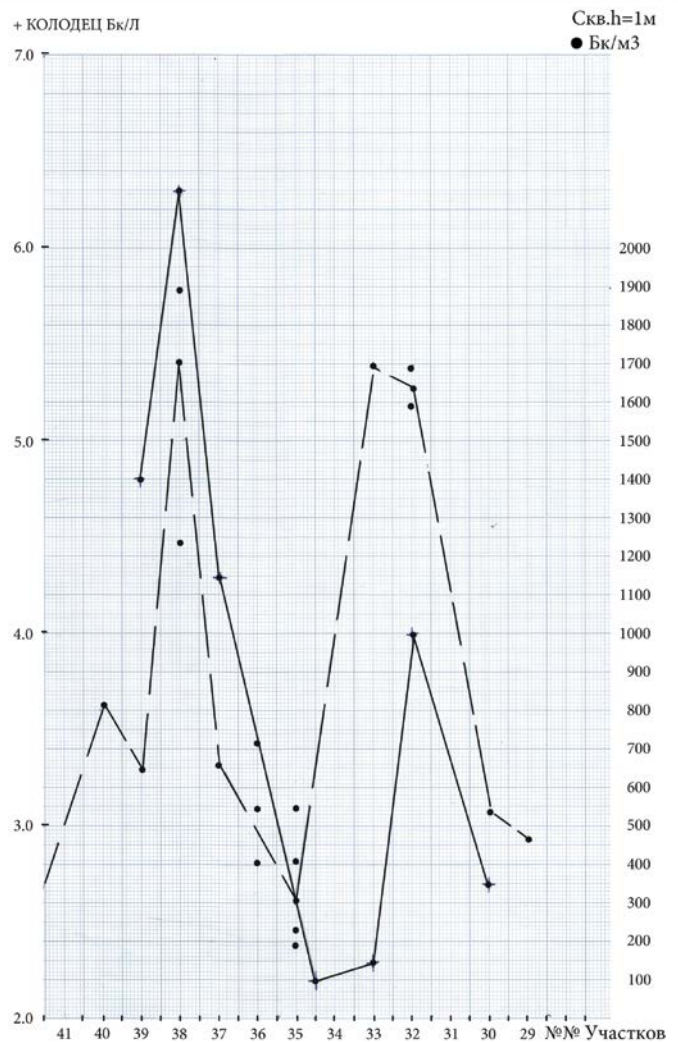


Рис. 1. Разведочный профиль колебаний подпочвенного радона на гл. 1 м и радона в грунтовых водах на гл. 4–6 м на участке № 1 (Егорьевский район)

глинистые пески верхней юры — до 41 м; глубже трещиноватые обводненные известняки карбона. Грунтовые воды залегают на глубине 4,2–5 м. Разведочный профиль (рис. 1) показал резкие колебания активности радона в зоне аэрации — от 200 до 1900 Бк/м³, причем четко были выявлены две аномалии на дачных участках № 38 и 32. На этих аномалиях и между ними в соответствующих скважинах проводились неоднократные замеры активности, подтверждающие существование этих аномалий. На том же профиле показаны колебания активности радона в воде колодцев, которые обнаружили наличие таких же аномалий, аналогичных аномалий зоны аэрации: 6,3 Бк/л против 2,2 Бк/л. Повторный анализ воды на участке № 38 также показал повышенную активность радона, равную 5,7 Бк/л. В водоносных известняках на том же участке активность радона равна 20 Бк/л. На выделенных аномальных зонах шириной меньше 19 м каждая, отмечается 100 % дихотомия сосен и берез.

На участке № 2 (метро «Речной вокзал») представлен полный разрез четвертичных отложений мощностью 38 м, подстилаемый юрскими глинами (рис. 2).

В зоне аэрации под суглинками толщиной 6 м залегают сухие с/з пески, которые подстилаются суглинками до глубины 20 м. Ниже залегают напорный песчаный водоносный горизонт. В разведочной скв. № 2, пройденной в суглинках до глубины 1 м осенью 2016 г., была зафиксирована активность радона в пределах 2–5 тыс. Бк/м³.

Рассмотрим результаты мониторинга радона в скв. № 2 в период май-июль (2017, рис 3.). На временном графике колебания активности радона носят ступенчатый характер, причем возрастание активности радона происходит с почти постоянной скоростью, равной 500–520 Бк/сут, а период возрастания активности колеблется в пределах 3–5 суток. Исходя из предполагаемой схемы генерации радона в песках и его конвективного переноса к поверхности, рассчитаем весьма приближенно момент нового тектониче-

ского возмущения, положившего начало фильтрации первой порции радона, появившейся на глубине 1 м, возрастая затем линейно в течение нескольких суток. Для этого вычислим суммарное количество радона, образовавшегося во всей толще песка в период нового возмущения. В каждом наблюдаемом ежесуточном выбросе радона R_t введем поправку на время распада в течение 1 сут по формуле $R_t = R_{t-1} \cdot e^{-\lambda \Delta t}$, где R_t — активность радона с поправкой на период полураспада, R_{t-1} — активность радона, наблюдаемая во время $t-1$, $\Delta t = 1$ сут, λ — константа распада радона, равная 0,18 ($\lambda = \frac{\ln 2}{T} = 0,493 : 3,823 = 0,18$), где T — период полураспада радона = 3,823 сут [16].

Далее суммируем все возрастающие суточные активности радона с поправками вплоть до самой высокой точки на графике (рис. 8). В результате получаем

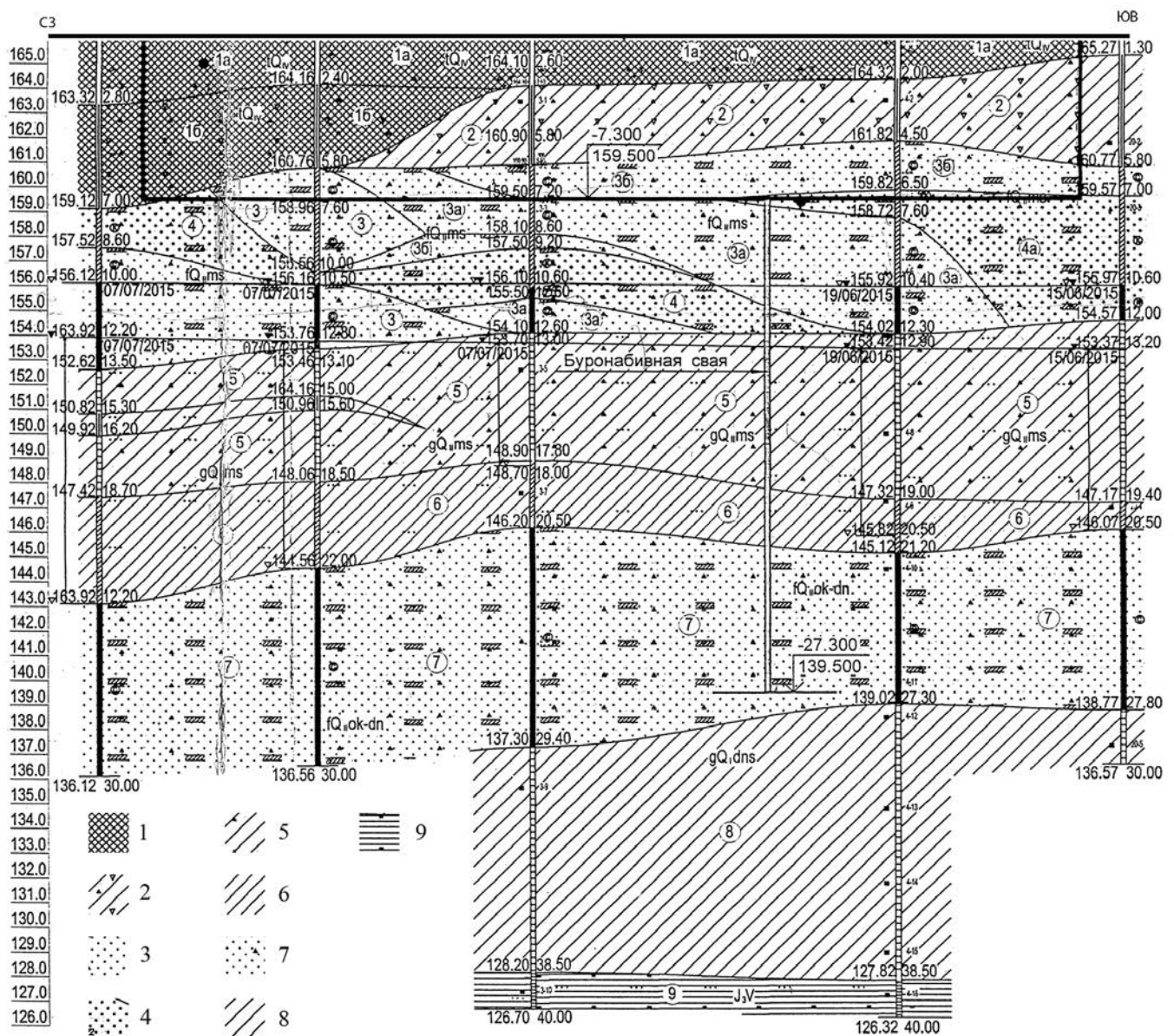


Рис. 2. Геолого-литологический разрез четвертичных отложений участка № 2 (Москва): 1 — насыпь механическая со смесью суглинка и щебня; 2 — суглинок тугопластичный; 3 — песок с/к плотный; 4 — песок с/к рыхлый; 5 — суглинок полутвердый; 6 — супесь песчаная пластичная; 7 — песок с/к; 8 — суглинок полутвердый с включениями; 9 — глина твердая

общую активность радона в толще песка R_0 во время t_0 , обеспечивающую выход всего образовавшегося радона в подпочвенный слой. По этим данным вычисляем время от начала фильтрации радона до его максимального выброса, используя последнее значение активности радона без поправки, по формуле

$t_x = \left[\ln \frac{R_0}{R_i} \right] : \lambda$, где t_x — полное время подъема радона, сут., R_i — активность радона на высшей ступени фильтрации.

Полученное значение времени отсчитывается от момента активности радона на данной ступени до пересечения с линией экстраполяции данной ступени. В качестве примера приводим расчет времени на графике в период с 16 по 20 июня 2017 г.

$R_1 = 5000$, $R_2 = 5400$, $R_3 = 5800$, $R_4 = 6360$, $R_5 = 7000$ Бк/м³.

После введения поправок $R'_1 = 5000 \cdot e^{0,18} = 5986$; $R'_2 = 6465$; $R'_3 = 6944$; $R'_4 = 7714$; $R'_5 = 8380$, откуда $R_0 = \sum R'_i = 35389$, $t_x = \left[\ln \frac{35389}{7000} \right] : 0,18 = 9,00$ сут.

Таблица 1

Месяц	От	До	R_{max}	R'_1	R'_2	R'_3	R'_4	R'_5	R'_0	t_x
Июнь	16	20	7000	5986	6465	6944	7614	8380	35389	9,00
Июнь	3	6	6050	5447	5627	6724	7243	—	25081	7,90
Июнь	22	25	7400	6684	7428	8141	8859	—	31312	8,01
Июнь	28	30	8100	7961	8500	9697	—	—	26158	7,60
Июль	4	8	6450	5208	5567	6525	6704	7722	31726	8,85
Июль	9	14	8500	6465	7123	7842	8800	9697 $R'_6=10176$	50103	9,86

В табл. 1 приведены результаты вычислений начального времени для всех шести ступеней графика. На рис. 3 вычисленные точки обозначены красным цветом на линии экстраполяции каждой ступени.

Относительное постоянство скорости фильтрации аномального радона вверх означает близкие значения мощности тектонического возмущения на ослабленную зону суглинков, создающие проницаемые каналы в породе. При фильтрации радона снизу вверх создается в зоне аэрации близкий, в рассмотренных случаях, градиент напора. В дальнейшем глобальные или мощные региональные воздействия отдаленных сейсмических событий, а также частота таких случаев

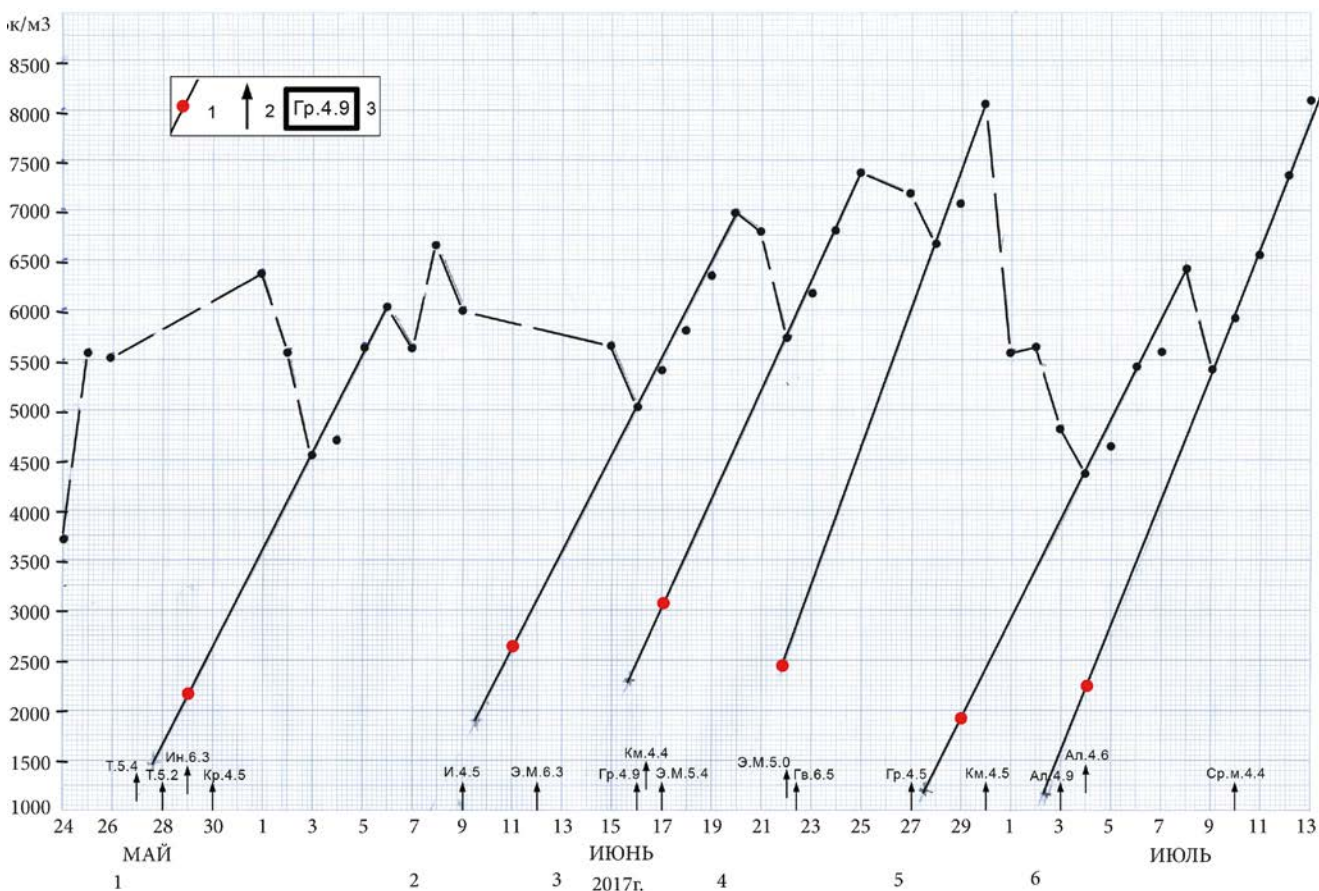


Рис. 3. Мониторинг подпочвенного радона на участке № 2 (Москва) в период май-июль 2017 г.: 1 — расчетная точка тектонического возмущения; 2 — магнитуда; 3 — страна: Т.5.4 — Турция; Ин.6.3 — Индонезия; Кр.4.5 — Кипр

могут привести к более интенсивным выбросам радона, вплоть до факельных.

Оценим влияние (связь) землетрясений с вычисленным временем начала очередной генерации радона в песчаном интервале разреза. Для этого на рис. 3 обозначим землетрясения, попадающие в общепринятый сектор влияния европейских землетрясений на сейсмичность Москвы, в частности, румынских землетрясений [4]. В этот Юго-Западный от Москвы сектор мы включили все землетрясения от Италии до Турции, а также глобальные возмущения магнитудой свыше 6. Легко убедиться, что большинство землетрясений с точностью до 1–2 сут совпадает с вычисленными моментами начала возмущения. Следует обращать внимание на уровень активности радона в период начала возмущения — от 2 до 3 тыс. Бк/м³ ($R_{ср}=2450$). Эта цифра всегда присутствует в начале измерения, т.е. до какого-то этапа заметного возмущения является начальным фоном на аномальных участках ослабленных зон современных тектонических нарушений.

Мониторинг колебаний объемной активности радона в скв. 2 в период времени — август-сентябрь 2017 г. представлен на рис. 4. Он с большей степенью детальности отражает динамику поведения радона в связи с увеличением количества замеров до двух в сутки (экспозиция прибора 4+4 = 8 час.). Аномалии в этот период возросли до 9–10 тыс. Бк/м³ по сравнению с предыдущим периодом наблюдений (рис. 3).

Зафиксируем на рис. 4 землетрясения по принципу, предложенному выше. Обратим внимание на кратковременные выбросы радона (свыше 10 тыс. Бк/м³) в период четырехчасовой экспозиции: 10 августа — выброс радона, 11 августа — аномалия радона, равная 9,15 тыс. Бк/м³, что соответствует землетрясению в Ю. Италии (M — 4,6). В группе аномалий с 22 по 24 августа, достигающих 9,1–10,0 тыс. Бк/м³ произошло 3 землетрясения — на В. Кавказе (M — 3,7), на Ирано-Иракской границе (M — 5,8) и на З. Кавказе (M — 4,6). Относительная аномалия радона отмечена 01.09.2017, равная 6,8 тыс. Бк/м³ — она соответствует сильному землетрясению на о. Додеканес (Греция) (M — 5,1).

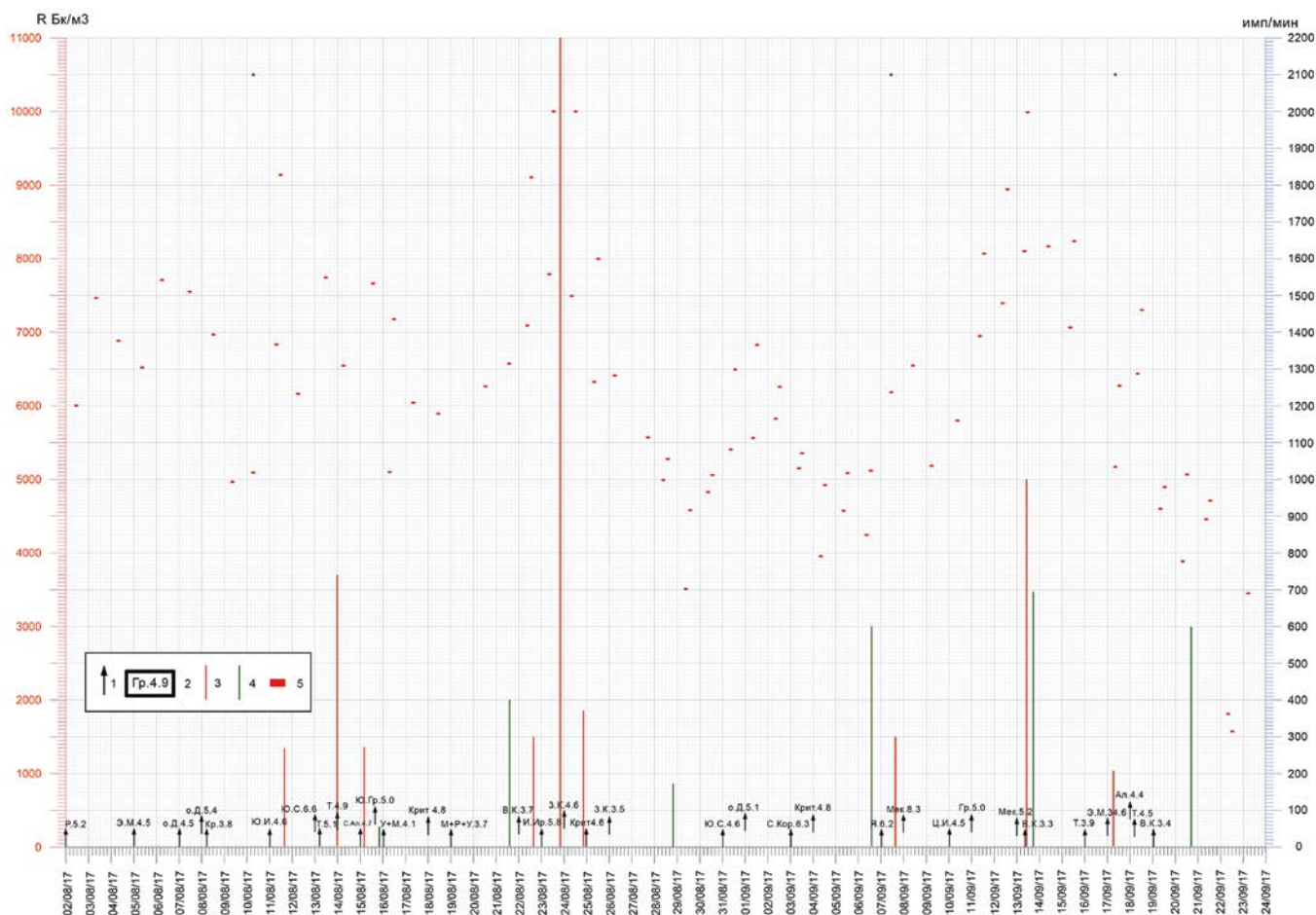


Рис. 4. Мониторинг подпочвенного радона на участке № 2 в период август-сентябрь 2017 г.: 1 — магнитуда; 2 — страна; 3 — аномалии частоты электромагнитных импульсов в минуту; 4 — частота электромагнитных импульсов в минуту в характерные точки лунного календаря; 5 — четырехчасовой интервал замера активности подпочвенного радона в Бк/м³. Р.— Румыния; Э.М. — Эгейское море; о. Д. — остров Додеканес; Кр. — Крым; Ю.И. — Южная Италия; Ю.С. — Южная Суматра; Т. — Турция; С.Ал. — Северный Алжир; Ю.Гр. — Южная Греция; У+М. — Украина+Молдавия; Крит; М+Р+У. — Молдавия+Румыния+Украина; В.К. — Восточный Кавказ; И.Ир. — Ирак, Иран; З.К. — Западный Кавказ; С.Кор. — Северная Корея; Я. — Ява; Мек. — Мексика; Ц.И. — Центральная Италия; Гр. — Греция; Ал. — Албания

Таблица 2

Дата	Фаза луны	Время	Импульс/мин	Примечания
15 августа	Третья четверть	3-5 утра	270	
21 августа	Новая луна	23 часа	410	
29 августа	Первая четверть	3 часа утра	130	
6 сентября	Полная луна	18 часов	620	
13 сентября	Третья четверть	Утро	Фон	В 18 ч. — 1050
20 сентября	Новая луна	22 часа	500	
28 сентября	Первая четверть	4 ч. 40 мин	80	

Относительной аномалией радона отмечено сильнейшее мексиканское землетрясение (08.09.2017 — $M=8,5$). Наконец, форшоки мексиканского землетрясения, отмеченные 13.09.2017 г. совпали с радоновой аномалией, равной 10 тыс. Бк/м³. 17.09.2017 г. отмечен аномальный выброс радона (свыше 10 тыс. Бк/м³), который соответствует землетрясению в Эгейском море ($M=4,6$), а относительной аномалии радона 7300 Бк/м³ соответствует землетрясение в Албании ($M=4,4$) и Турции ($M=4,5$).

Попробуем оценить происхождение радоновых аномалий, применив многоканальный геофизический регистратор МГР-01. Он успешно применяется для регистрации и прогноза землетрясений на территории РФ [6, 7].

Сначала оценим связь ЭМИ с лунными приливами ЗК [15].

В соответствии с непрерывными наблюдениями за частотой электромагнитных импульсов в течение августа-сентября оказалось, что для четырех характерных точек лунных фаз были отмечены аномалии, приведенные в табл. 2.

Таким образом, аномальные частоты импульсов полностью отражают воздействие приливных сил на ЗК с совершенно определенными, но не максимально наблюдаемыми импульсами. Зафиксируем эти аномалии на рис. 7 зеленым цветом, красным цветом обозначим аномалии, соответствующие по времени радоновым аномалиям. Они часто превосходят по величине приливные аномалии и, скорее всего, связаны с воздействием глобальных землетрясений, показанных на рис. 4.

Рассмотрим более детально суточные колебания интенсивности электромагнитных импульсов, на

которые наложены измеренные средние за 4 часа активности радона (рис. 5), причем для точного сопоставления полученных величин время замера радона дано по Гринвичу (–3 часа от Московского), т.е. аналогично частоте замеров ЭМИ. Для 22 августа активность радона, равная 7000 Бк/м³, соответствует частоте импульсов, равной

50 в мин, а активность радона, равная 9000 Бк/м³, соответствует частоте, достигающей 200–250 импульсов в мин. Особо интересен график интенсивности импульсов 23 августа. Здесь, в утреннем замере радона, равного по активности 7,8 тыс. Бк/м³ интенсивность менее 50 импульсов в мин, а дневной аномальный показатель радона (10 тыс. Бк/м³) «зацепился» за пик интенсивности, достигающей 1300 импульсов в мин. Наконец, 24 августа высокая аномалия радона (10 тыс. Бк/м³) расположена в пределах интенсивности, равной 380 импульсов в мин. против утренней интенсивности, едва достигающей 100 импульсов в мин при активности радона около 7500 Бк/м³.

Практически такая же ситуация 13 сентября, когда аномалия радона, равная 9990 Бк/м³, «зацепилась» за резкое повышение интенсивности, равное 200 импульсов в мин при утреннем показателе, близком к нулю и соответствующем активности радона 8,1 тыс. Бк/м³. Другими словами, показатель интенсивности электромагнитных импульсов является показателем динамики

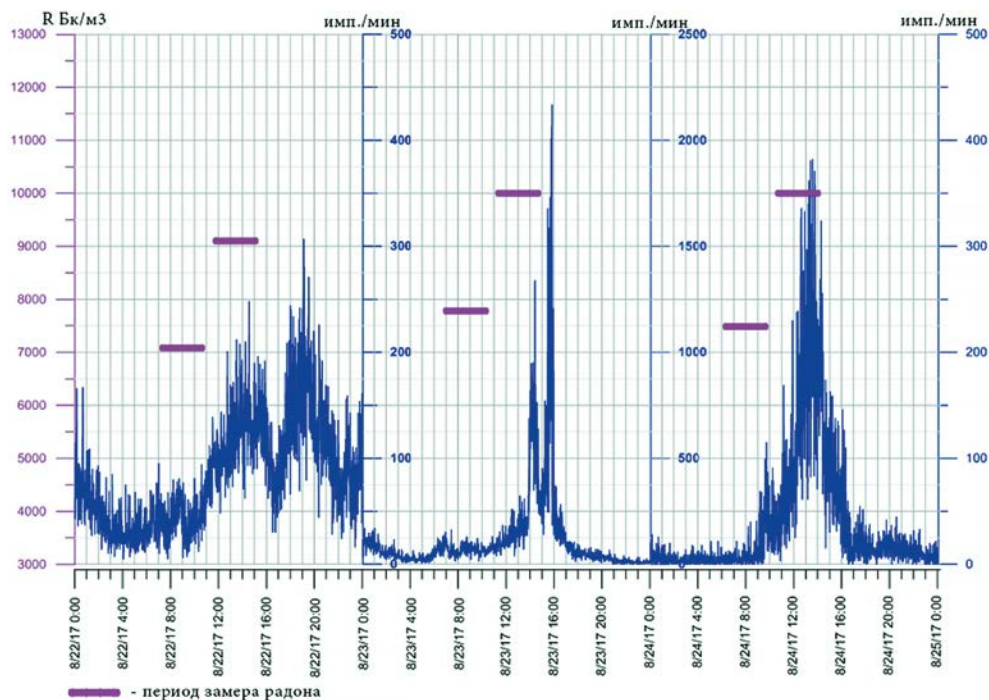


Рис. 5. Совмещенный детальный график частоты естественных электромагнитных импульсов земли в мин и подпочвенного радона в период 22–24 августа 2017 г.

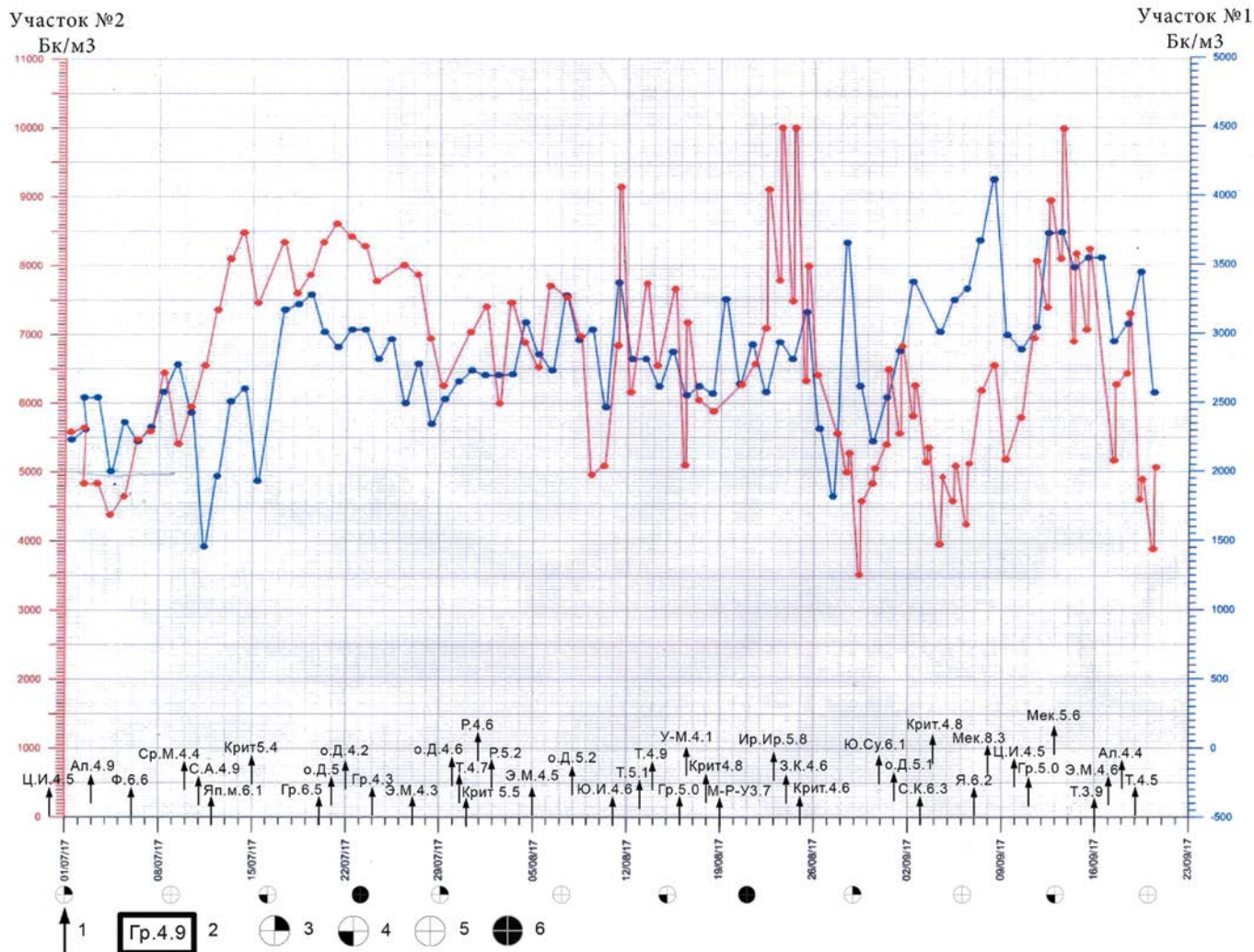


Рис. 6. Совмещенный мониторинг подпочвенного радона на участках №№ 1 и 2 в период июль-сентябрь 2017 г. 1 — землетрясение; 2 — слева пункт землетрясения, справа магнитуда; 3–6 — фазы луны: 3 — первая четверть; 4 — третья четверть; 5 — полная луна; 6 — новая луна

активности радона на аномальных участках, удаленных от прибора МГР-01 на несколько километров в пределах Москвы.

Приведенный выше анализ формирования аномального радона в песчаном разрезе и его фильтрации вверх по суглинкам показывает, что динамика подпочвенного радона связана с разрезом зоны аэрации и мощностью воздействия сейсмических источников на песчаный разрез. В случае двухслойного строения разреза аномальная порция радона на глубине 1 м запаздывает от 1 до нескольких суток по сравнению с чисто песчаным разрезом, реагирующим на внешнее воздействие немедленно. Поэтому, даже в ходе детальных исследований А.А. Спивака, на профилях, пересекающих региональный разлом, реакция на характерные точки лунных приливов изменяется в связи с изменением разреза, включая мощность зоны аэрации [14].

Рассмотрим совмещенный мониторинг активности радона на 1-м и 2-м участках в июле-сентябре 2017 г. (рис. 6). Там же представлена шкала «подозрительных» землетрясений. Относительно спокойное поведение атмосферы (давления) в июле отличалось от резких су-

точных колебаний давления в августе-сентябре. При отсутствии прямой корреляции мониторинга в июле на обоих участках обращает на себя внимание совпадение суточных пиков на обоих графиках — выбросов радона в августе-сентябре (свыше 10 тыс. Бк/м³ на участке № 2). Эти совпадения по времени отвечают землетрясениям в Южной Италии, в Мексике, на о. Крит и на Западном Кавказе. Следует отметить, что эти максимумы радона соответствуют суточным падениям атмосферного давления на 10–15 мм рс. Все значения активности радона приведены в ЭРОА, для получения истинной альфа-активности радона следует применить коэффициент 3,19.

Прибор Radon Scout Home был использован в июне-июле 2018 г. на обоих участках. В табл. 3 даются показания активности радона с 15 по 21.06.18 г.

На обоих участках фиксируются суточные колебания, амплитуда колебаний на участке № 1 — от 13179 до 17391 Бк/м³, на участке № 2 — от 42120 до 50725 Бк/м³. Мощность песков зоны аэрации на втором участке в два раза больше, чем на первом.

В нашей работе 2010 г. [8] выделяются области разрывов трубопроводов холодной воды диаметром

Таблица 3

Дата	Время	Альфа-активность, Бк/м ³	
		Уч. №1	Уч. №2
15/06/18	1:43	14855	47509
15/06/18	5:43	14221	45471
15/06/18	9:43	15987	46422
15/06/18	13:43	17120	45018
15/06/18	17:43	16712	45652
15/06/18	21:43	14810	42120
16/06/18	1:43	16984	42391
16/06/18	5:43	15444	44837
16/06/18	9:43	17437	46784
16/06/18	13:43	16803	46060
16/06/18	17:43	15172	47418
16/06/18	21:43	15806	44928
17/06/18	1:43	16667	47509
17/06/18	5:43	15217	49819
17/06/18	9:43	15761	47645
17/06/18	13:43	16033	47011
17/06/18	17:43	16667	45290
17/06/18	21:43	16350	45652
18/06/18	1:43	16803	47509
18/06/18	5:43	15716	50543
18/06/18	9:43	15399	48551
18/06/18	13:43	16667	50136
18/06/18	17:43	13179	47011
18/06/18	21:43	15444	46875
19/06/18	1:43	16486	48234
19/06/18	5:43	15489	46150
19/06/18	9:43	15036	49139
19/06/18	13:43	16757	46241
19/06/18	17:43	16803	47554
19/06/18	21:43	16803	48958
20/06/18	1:43	15942	50725
20/06/18	5:43	16123	49909
20/06/18	9:43	15851	48958
20/06/18	13:43	16078	49094
20/06/18	17:43	15625	49547
20/06/18	21:43	14493	46060
21/06/18	1:43	17391	44928
21/06/18	5:43	16350	46649
21/06/18	9:43	15580	48188
21/06/18	13:43	17029	43750
21/06/18	17:43	15716	47237
21/06/18	21:43	15761	47917

250–300 мм, приуроченные к схеме современных тектонических нарушений, составленной О.В. Пинигиным. В Старых Химках в течение 2017–2018 гг. было зафиксировано 8 разрывов, два из которых приходятся на 2018 г. Все разрывы расположены внутри или рядом с региональными нарушениями. Через месяц после разрыва трубы на ул. Чкалова в 10 м от разрыва была пройдена скважина глубиной 1 м. Замеры ЭРОА в этой скважине показали среднее значение, равное 3045 Бк/км. На рис. 7 проведена ортогональная система линий, расположенных на точках разрыва и нормальных к современным тектоническим нарушениям. Эти линии отражают возникающее горизонтальное напряжение с разными знаками в грунтах в момент региональных подвижек по разломам. Именно в этих зонах и была обнаружена заметная активность радона. Показатель наличия подпочвенного радона — длинная аллея дихотомичных деревьев своим продолжением упирается в одну из точек разрыва трубопроводов на ул. Маяковского.

На юго-востоке (рис. 7) приютился ВЗУ «Южный», расположенный на региональном разломе. Исследовательская скважина глубиной 1 м позволила провести мониторинг радона в августе–октябре 2019 г.

На рис. 8 показан график колебания радона за период с 17 по 29 октября 2019 г. С 18 по 21 октября и с 23 по 25 октября видно ступенчатое возрастание активности радона, аналогичное маяю–июлю 2017 г. (рис. 3). График дифференцирован, амплитуда колебаний — от 1 до 20 тыс. Бк/м³. В суточный период некоторых максимумов обоими приборами МГР-01 отмечаются заметные аномалии ЭМИ. Они могут соответствовать землетрясениям в «московском секторе чувствительности», которые указаны на рис. 8.

Последние два крупных землетрясения — в Албании (М — 6,6) и на о. Крит (М — 6,3), первое из которых — самое крупное на Земле 26.12.2019 г., отозвалось на ЭМИ обоих приборов самой высокой частотой импульсов за год наблюдений (до 5 тыс.). Именно в эти дни — 25–27 ноября 2019 г. в ООО «Химводоканал» отмечена серия утечек ХВС из земли.

Оценим пространственное распределение радона и гелия в ВЗУ Химкинского района по данным исследований 2004–2007 гг. [8]. Радон-222 определялся в лаборатории радиационного контроля ФГУП «ВНИИ-ФТРИ», продукты его распада определялись на гамма-спектрометре в лаборатории ФГУП «Радон», гелий определялся в специализированной лаборатории при институте ВСЕГИНГЕО по 36 эксплуатационным скважинам. Они вскрывают касимовский, подольско-мячковский и окско-протвинский горизонты соответственно верхнего, среднего и нижнего карбона в трещиноватых известняках, доломитах и мергелях на средних глубинах 100, 150 и более 200 м в Московском артезианском бассейне. В региональной депрессионной воронке, связанной с длительной эксплуатацией бассейна, линии тока направлены вниз, от инфильтрационных вод зоны аэрации и грунтовых вод к перечисленным выше горизонтам (рис. 11). В абсолютном большинстве случаев глубинный газ гелий преобладает в самом ниж-

нем горизонте от 96 до 240 мл/л $\times 10^{-5}$. Его концентрация заметно снижается до 40–50 в подольско-мячковском и до 4–9 в касимовском горизонтах. Большинство самых низких показателей активности радона приходится на окско-протвинский горизонт — от 4 до 8 Бк/л, в среднем в подольско-мячковском горизонте преобладают активности от 15 до 37 Бк/л. В касимовском горизонте наибольший разброс активностей от 2 до 32 Бк/л. Анализ результатов показал, что в нижнем горизонте из 8 случаев в 6 активность радона самая низкая, а концентрация гелия самая высокая, в среднем горизонте — из 7 случаев в 6 активность радона самая высокая, а концентрация гелия — самая низкая. Таким образом, самый проникаемый газ — гелий с большим трудом

поднимается вверх против тока воды. Следовательно, преобладающий источник формирования радона в воде расположен не на больших глубинах, а формируется на меньших глубинах или, по крайней мере, его движение направлено сверху вниз по разрезу.

Аномалии радона в воде современных тектонических нарушений рассматриваем по данным ВЗУ УТЦ (правый берег р. Сходня) с помощью переинтерпретации данных комплексного каротажа разведочной № 3н и эксплуатационной № 3 скважин, пробуренных в 2013 г. (рис. 10). Расстояние между ними 58 м, интервал сопоставления глубин 110–150 м: корреляция по КС — тождественная, корреляция по гамма-активности — тождественная по всем интервалам, кроме глубины 123 м. В последнем интервале гамма-активность возрастает с 8 мкр/ч в скв. 3н до 22 мкр/ч в скв. 3, т.е. увеличивается на 14 мкр/ч. При корреляции по кавернометрии диаметр скв. 3 увеличивается с 200 до 400 мм в интервале 122,5 до 123,5 м. Такое возрастание диаметра в скв. 3 означает вскрытие зоны высокой пустотности (жилы). Заметное повышение активности в такой зоне может быть вызвано высоким содержанием радона в воде. Фактически скважина № 3 вскрыла на глубине 123 м крутопадающую зону, указанную на тектонической схеме [8] и (рис. 9). В соседней скв. № 1 (707), отстоящей на 10 м от скв. 3, ликвидированной в 2013 г., по исследованиям В.Л. Воронина (ООО «Аква-Хелп») была отмечена деформация обсадной колонны в интервалах 117–144 м и 158–162 м. На гидрогеологическом разрезе (рис. 11) уклон такой зоны равен 75°. Обе скважины расположены висячем боку разлома, не пересекающего стволы скв. 2 (706) и 3н.

Рассчитаем активность радона в воде скв. 3 по прибавке гамма-активности, равной 14 мкр/ч, известным гамма-методом. При распаде альфа-активного радона образуются дочерние изотопы RaВ и RaС — основные гамма-излучатели. При равновесном соотношении радона с продуктами распада его активность в воде может быть установлена по интенсивности гамма-излучения по формуле: $R=K(J_{\text{общ}}-J_{\text{ф}})$, эман, где K — пересчетный коэффициент, эман/(мкр/ч), $J_{\text{общ}}$ — измеренная в воде общая интенсивность гамма-излучения, создаваемое за счет загрязнения прибора, космических лучей и горных пород, $J_{\text{в}}$ — интенсивность гамма-излучения за счет находящихся в воде радиоактивных элементов. Теоретическая величина пересчетного коэффициента для полубесконечной излучающей среды $K=6,6$ эман/(мкр/ч).

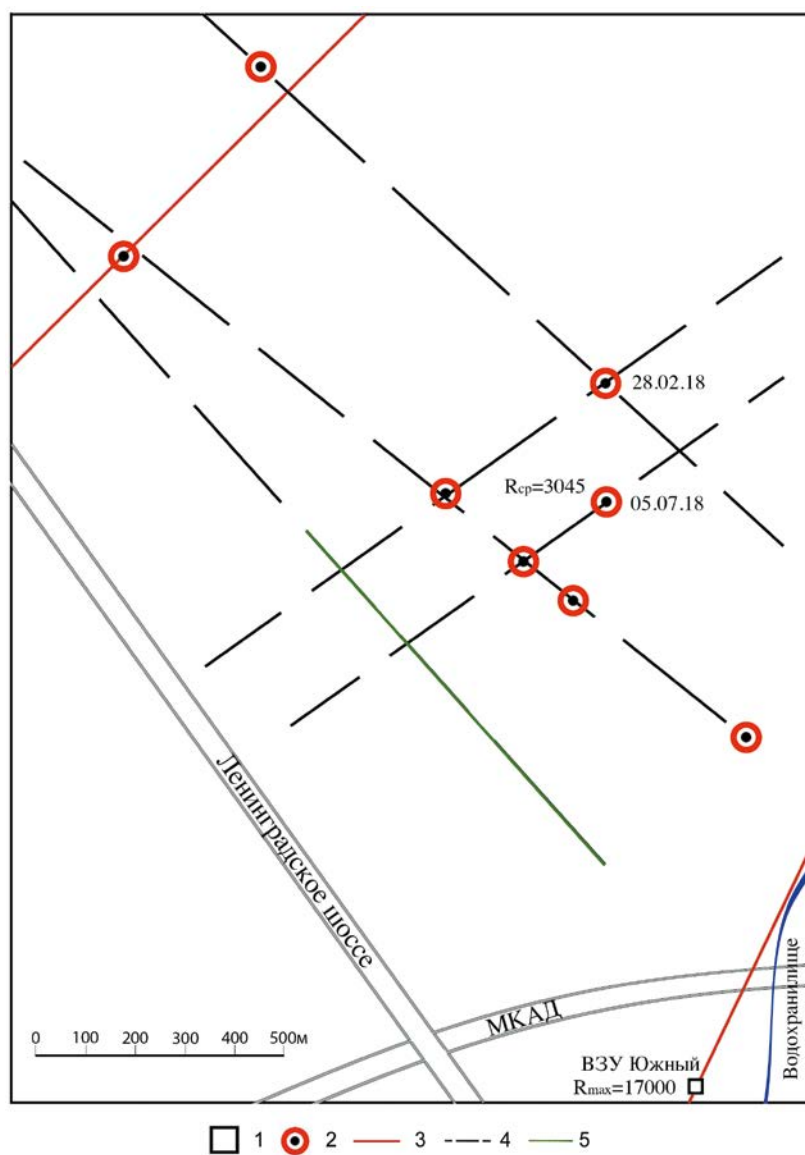


Рис. 7. Схема разрывов трубопроводов района Старых Химок (масштаб 1:10000 (в 1 см 100 м)): 1 — водозаборный узел (ВЗУ Южный), слева — максимальное значение активности радона в течение сентября-октября 2019 г., в Бк/м³; 2 — точка разрыва трубопровода d250–300 на глубине 3 м в период 2012–2018 гг. Справа — дата аварии, слева — среднее значение ЭРОА в Бк/м³ в 10 м от точки разрыва; 3 — современное региональное тектоническое нарушение; 4 — предполагаемые линии тах локальных напряжений; 5 — аллея сплошных дихотомичных деревьев (в сквере в старых Химках)

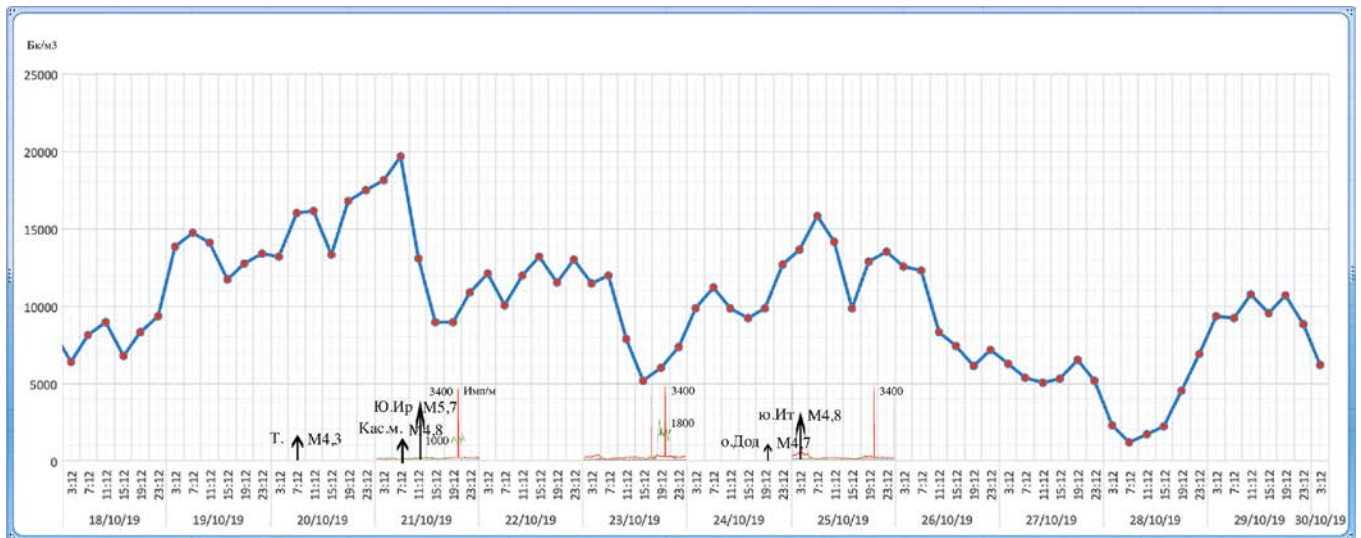


Рис. 8. Совмещенный мониторинг радона и ЭМИ на ВЗУ «Южный» в октябре 2019 г.

При общей гамма-активности интервала $J_{\text{общ.}} = 22$ мкр/ч и фоновой активности горных пород в этом интервале 8 мкр/ч, активность интервала скважины на глубине 123 м $J_{\text{в}} = 22 - 8 = 14$ мкр/ч (прибавка за счет активности пластовой воды). Отсюда при $K = 6,6$ эман/(мкр/ч), $J_{\text{в}} = 14$ мкр/ч, 1 эман = 3,7 Бк/л, $R = K \times J_{\text{в}} = 6,6 \times 3,7 \times 14 = 342$ Бк/л. Точно такую же прибавку гамма-активности наблюдал автор при повторном каротаже скв. № 407 (АГКМ) на глубинах 1980–2260 м в проницаемых песчаниках меловых отложений, причем первичный каротаж показал более низкую гамма-активность песчаников по сравнению с окружающими аргиллитами. Песчаники в рапосных зонах соленых куполов на АГКМ (скв. 102) в процессе режимных гамма-каротажных исследований показали заметные колебания гамма-активности, связанные с сейсмоструктурными событиями в современных нарушениях. Единственное объяснение этому явлению — появление радона в рассолах, насыщающих песчаники.

Отобранные пробы воды на радон из эксплуатационных скв. № 3 и № 2 (706) в начале июля 2019 г. показали следующие результаты: в скв. 3 — 380 Бк/л, в скв. 2 — 95 Бк/л. Первое значение всего на 10 % больше рассчитанного ранее, т.е. скважина дренирует обогащенную радоном зону. Вторая скважина (№ 2) — старая эксплуатационная скважина (706) оказалась вне этой зоны.

Расположенный на пересечении группы современных нарушений с левым берегом р. Сходня «Куркинский» родник дренирует четвертичные флювиогляциальные пески,

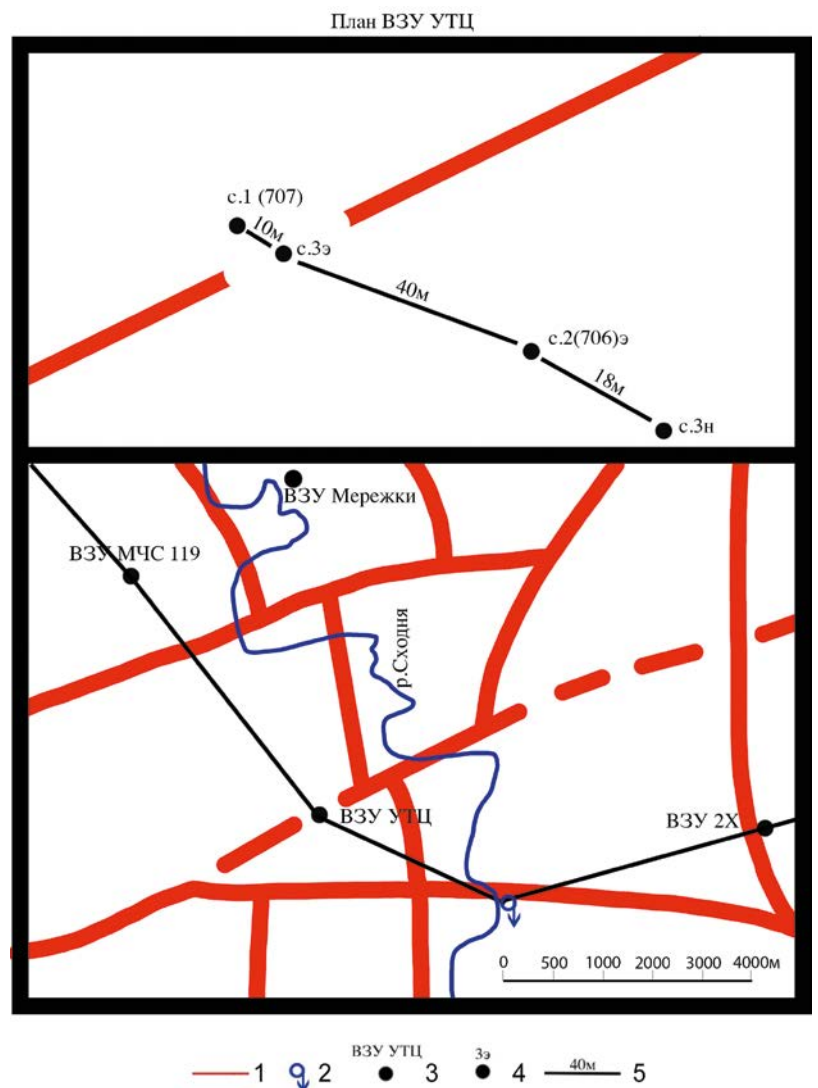


Рис. 9. Фрагмент схемы современных нарушений и план ВЗУ УТЦ: 1 — современные тектонические нарушения; 2 — родник нисходящий; 3 — водозаборный узел и его принадлежность; 4 — скважина. Сверху — номер и назначение. В скобках — номер по каталогу; 5 — расстояние между скважинами

ВЗУ УТЦ
Комплексный каротаж скв. №№3н и 3.

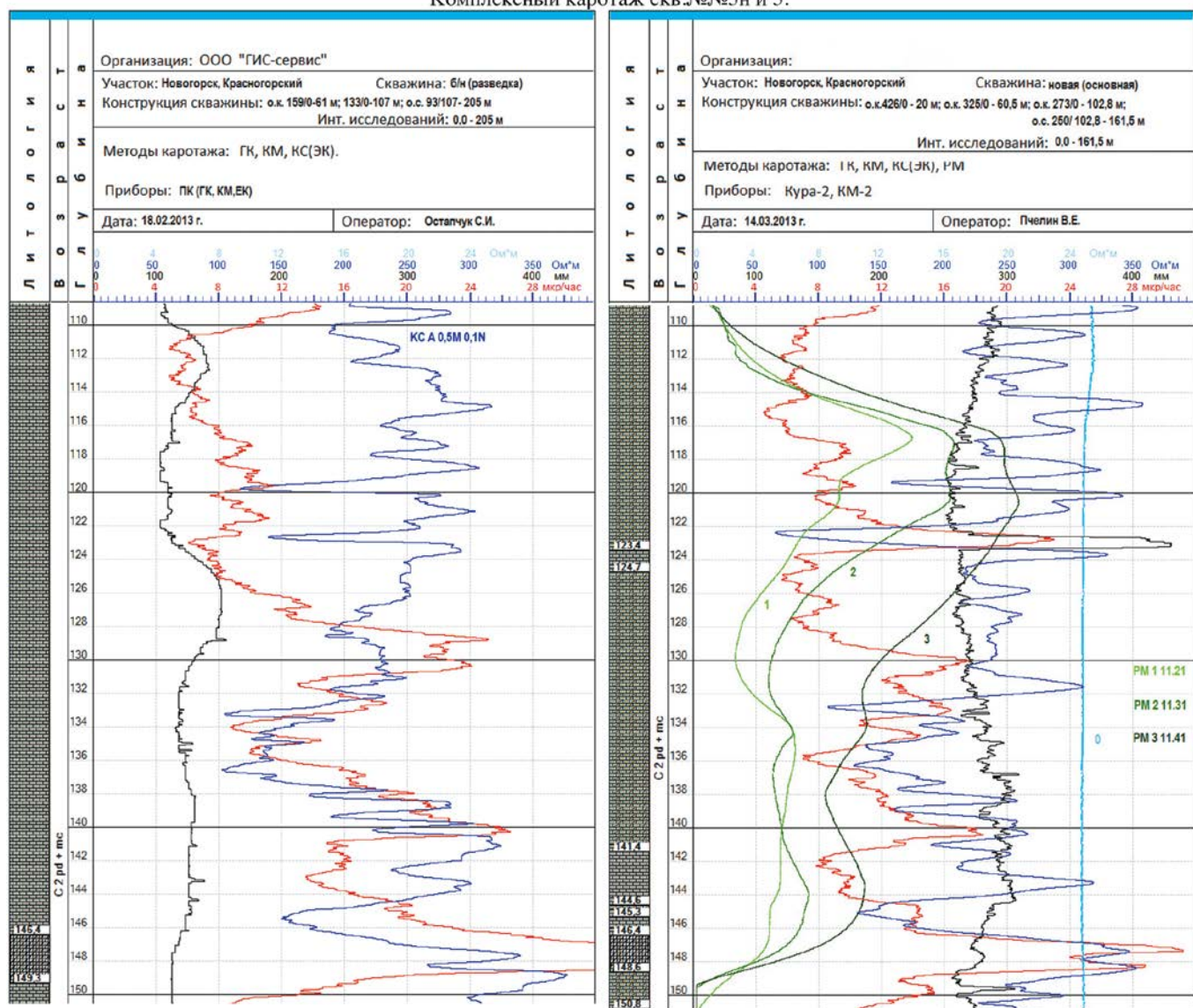


Рис. 10. Фрагмент каротажа скважин №№ 3 и 3н

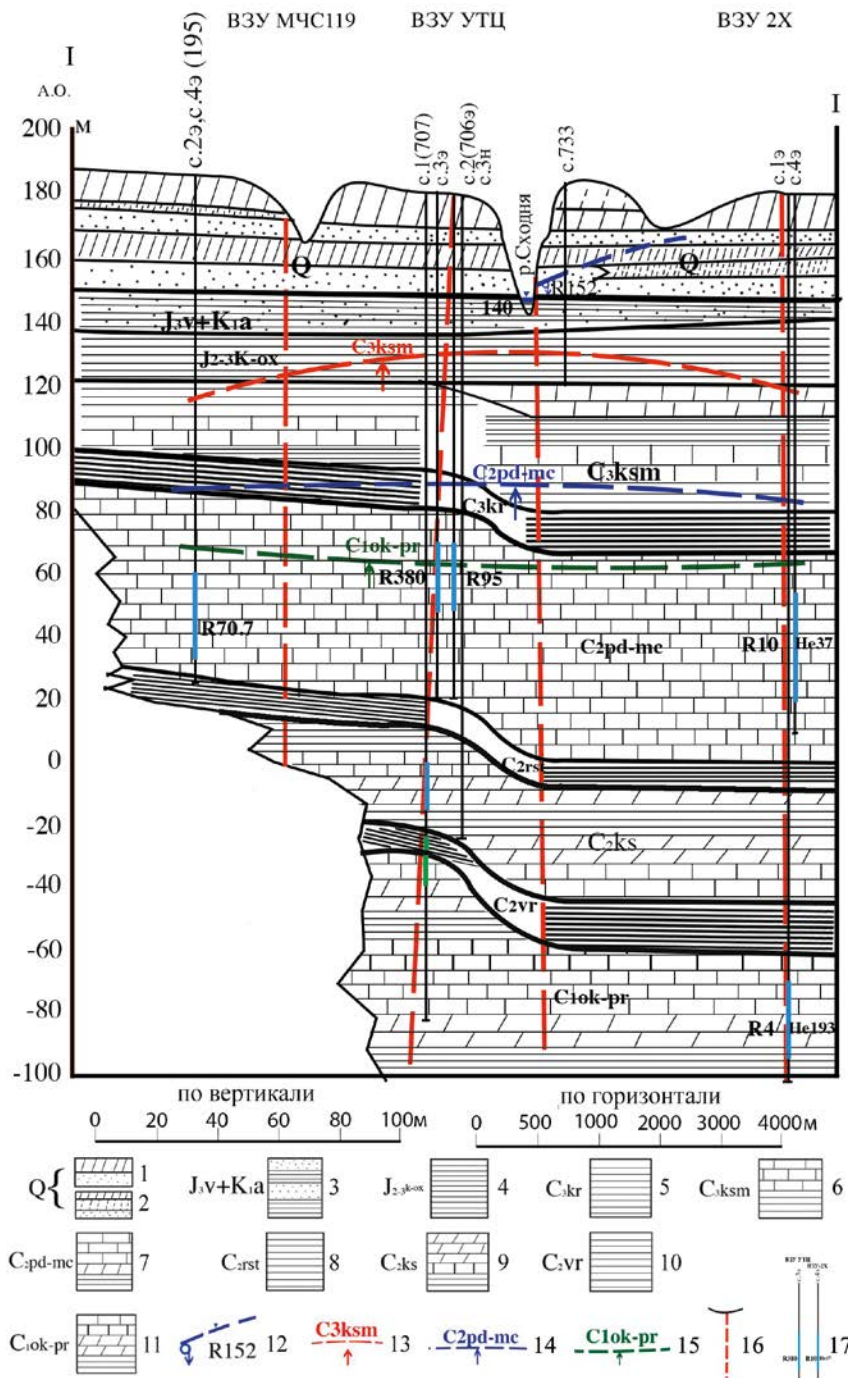
подстилаемые верхнеюрскими водоупорными глинами (рис. 11). Одновременно взятая из него проба воды показала активность радона, равную 152 Бк/л. В табл. 4 даются последние результаты определения радона в ВЗУ, тяготеющие к руслу р. Сходня — зоне максимальных подвижек тектонических блоков поперек русла, а также рядом с современными тектоническими нарушениями.

Сотрудник лаборатории В.П. Рудакова (ИФЗ РАН) В.В. Цыплаков передал мне цифровые записи наблюдений за радоном и водородом на участке Московского зоопарка за период 2003–2006 гг. Представляю один из характерных графиков — мониторинг радона и водорода за период с 31.08.2003 по 8.10.2003 гг. с дискретизацией наблюдений 1 час в условных единицах (рис. 12). Аппаратура сконструирована д. физмат. наук В.П. Рудаковым. В период с 31.08.2003 по 15.09.2003 г. отмечаются два мощных выброса водорода с тождественными по времени выбросами радо-

на в меньшем масштабе (165–390 у.е. против 60 у.е.). С 16.09.2003 по 23.09.2003 г. фиксируются периодические (ежесуточные) колебания водорода и радона, причем 16–17.09.2003 г. отмечается выброс водорода, достигающий 165 у.е., дальнейшие значения колебания водорода не превышают 100 у.е., а радона — 60 у.е. С 23.09.2003 г. периодичность колебаний и уровень концентрации водорода аналогичен предшествующему периоду, постепенно затухая со 2.10.2003 до 8.10.2003 г. до 40 у.е. С 29.09.2003 г. колебания радона когерентны колебаниям водорода, а максимальные значения достигают 80 у.е., превышая уровень водорода (60 у.е.). Промежуток времени от 23.09.2003 г. до 28.09.2003 г., который водород преодолел аналогично предыдущему и последующему периоду, отмечается заметной аномалией радона, достигающей 230 у.е. Внутри этой аномалии находятся Восточно-Хоккайдское землетрясение (M — 8,5) — 25.09.2003 г. и

Таблица 4

ВЗУ	№ скважин	Дата отбора	Активность радона Бк/л	Примечание
Родник	Куркинский	1.07.19	152	Родник каптирован
УТЦ	3	2.07.19	380	C ₂ pd-mc
УТЦ	2	2.07.19	95	C ₂ pd-mc
Южный	2а	9.09.19	24	C ₂ pd-mc
Южный	4	9.09.19	21	C ₂ pd-mc
ООО «Мережи»	1	20.09.19	15	C ₂ pd-mc
ООО «Мережи»	2	20.09.19	19	C ₂ pd-mc
МСЧ119	4	25.09.19	70,7	C ₂ pd-mc



Алтайское землетрясение (M — 7,3) — 27.09.2003 г. Реакция на первое из них была отмечена мной выбросом гелия из 5 самоизливающихся скважин неогена с глубины 160–180 м на АГКМ.

Суточные периоды колебаний показателей обоих газов отражают действия приливных сил. Мощные выбросы водорода перед сейсмическими событиями в сопровождении радона позволяют утверждать о транспортировке радона водородом с больших глубин (участок работ расположен на тектоническом нарушении). Однако нет никакого соответствия между огромной радоновой аномалией, начавшейся за двое суток до сейсмического события, и обычным поведением водорода в этот и последующие периоды. Вероятнее всего, эта аномалия радона возникла при сдвиговых явлениях в разломах и проявилась в маломощных песках зоны аэрации. Она (аномалия) выглядит на графике обоих элементов чужеродным телом, явно

Рис. 11. Гидрогеологический разрез: 1 — зона аэрации, четвертных отложений: суглинок, супесь, песок; 2 — Четвертичный водонасыщенный комплекс. Песок, суглинок, супесь; 3 — верхнеюрский-нижнемеловой водоносный комплекс. Глинистые песчаники; 4 — средне-верхнеюрский водоупор. Глины; 5 — верхнекарбонный касимовский водоносный комплекс. Известняки, глины; 6 — верхнекарбонный кревьякинский водоупор. Глины; 7 — среднекарбонный подольско-мячковский водоносный комплекс. Известняки, мергеля, глины; 8 — среднекарбонный ростиславльский водоупор. Глины; 9 — среднекарбонный каширский водоносный горизонт. Мергеля, доломит, глины; 10 — среднекарбонный верейский водоупор. Глины; 11 — нижнекарбонный окско-протвинский водоносный комплекс. Известняки, мергеля, глины, доломиты; 12 — нисходящий родник. Зеркало грунтовых вод. Справа — активность радона в Бк/л; 13 — пьезометрическая поверхность касимовского водоносного комплекса; 14 — пьезометрическая поверхность подольско-мячковского водоносного комплекса; 15 — пьезометрическая поверхность окско-протвинского водоносного комплекса; 16 — современные тектонические нарушения; 17 — скважина эксплуатационная. Сверху — водозаборный узел и его принадлежность. Ниже — номер скважины. Интервал фильтров-перфорации — синего цвета. Слева против фильтра — активность радона, Бк/л, справа — содержание гелия, мл/d*10⁻⁵. Красным цветом против фильтра обозначена глубина пересечения ствола с крутопадающим разломом

не глубинного происхождения. Важно подчеркнуть, что глобальные сейсмические события и происходящие одновременно в системе современных тектонических нарушений подвижки не могут служить заметным вкладом в величину активности подпочвенного радона ввиду редкости таких событий и малой величины полураспада радона.

Обсуждение и выводы

На участке № 1 можно численно оценить связь радона зоны аэрации с радоном в подземных водах. Аномалия в подземных водах неизменна, несмотря на эксплуатацию колодцев. Активность радона в 1 м³ грунта при средней альфа-активности, равной 15 тыс. Бк/м³, равна 15 тыс.:5=3 тыс. Бк (активная пористость $\mu=0,2$). В воде зоны аномалий активность радона при той же пористости 0,2 равна $6,3 \times 200 = 1260$ Бк/м³ водоносного песка. Активность радона в кровле водоносных известняков равна $20 \times 50 = 1000$ Бк/м³ при пористости 0,05. Отсюда следует, что радон формируется в песчаной зоне аэрации и при инфильтрации осадков частично растворяется, попадая в грунтовые воды и залегающие ниже водоносные горизонты.

На участке № 2 конвективный перенос радона к почве через ослабленную зону суглинков возможен только из 6 м пласта сухих песков, подстилаемых мощным водоупором суглинков и напорным песчаным водоносным горизонтом. Рассчитанная предполагаемая активность радона по ЭРОА может до-

стигать 25–50 тыс. Бк/м³. Фактическая замеренная альфа-активность по мониторингу 2018 г. достигает 50 тыс. Бк/м³, откуда на 1 м³ песка может приходиться $50 \text{ тыс.} : 5 = 10 \text{ тыс. Бк}$ ($\mu=0,2$).

Радон в Химкинском районе — безусловный индикатор фактических и вероятных разрывов трубопроводов по линиям максимальных напряжений ЗК в процессе сдвигов по современным нарушениям.

На ВЗУ «Южный» максимум подпочвенного радона на линии современных нарушений в суглинках мощностью 7,5 м, подстилаемых сухим песком зоны аэрации (2,5–3,5 м), достигает 20 тыс. Бк/м³, что составляет активность в 1 м³ породы — $20 \text{ тыс.} : 5 = 4 \text{ тыс. Бк}$. В подольско-мячковском водоносном горизонте активность радона по двум скважинам равна 21–24 Бк/л в воде, а в 1 м³ известняков $24 \times 50 = 1200$ Бк ($\mu=0,05$). Следовательно, даже по тектоническим нарушениям в известняках водоносный горизонт обогащается радоном до 1000–1200 Бк в 1 м³ породы.

На участке бассейна р. Сходня с наиболее интенсивным тектоническим движением (граница Мещерской впадины и Клинско-Дмитровской гряды) на разломе, вскрытом эксплуатационной скв. № 3 ВЗУ УТЦ аномальное значение радона в подземных водах — 380 Бк/л, что составляет в 1 м³ породы $380 \times 50 = 19 \text{ тыс. Бк}$ ($\mu=0,05$) на глубине 123 м.

В аналогичной серии разломов поперек р. Сходня — в нисходящем роднике «Курский» содержание

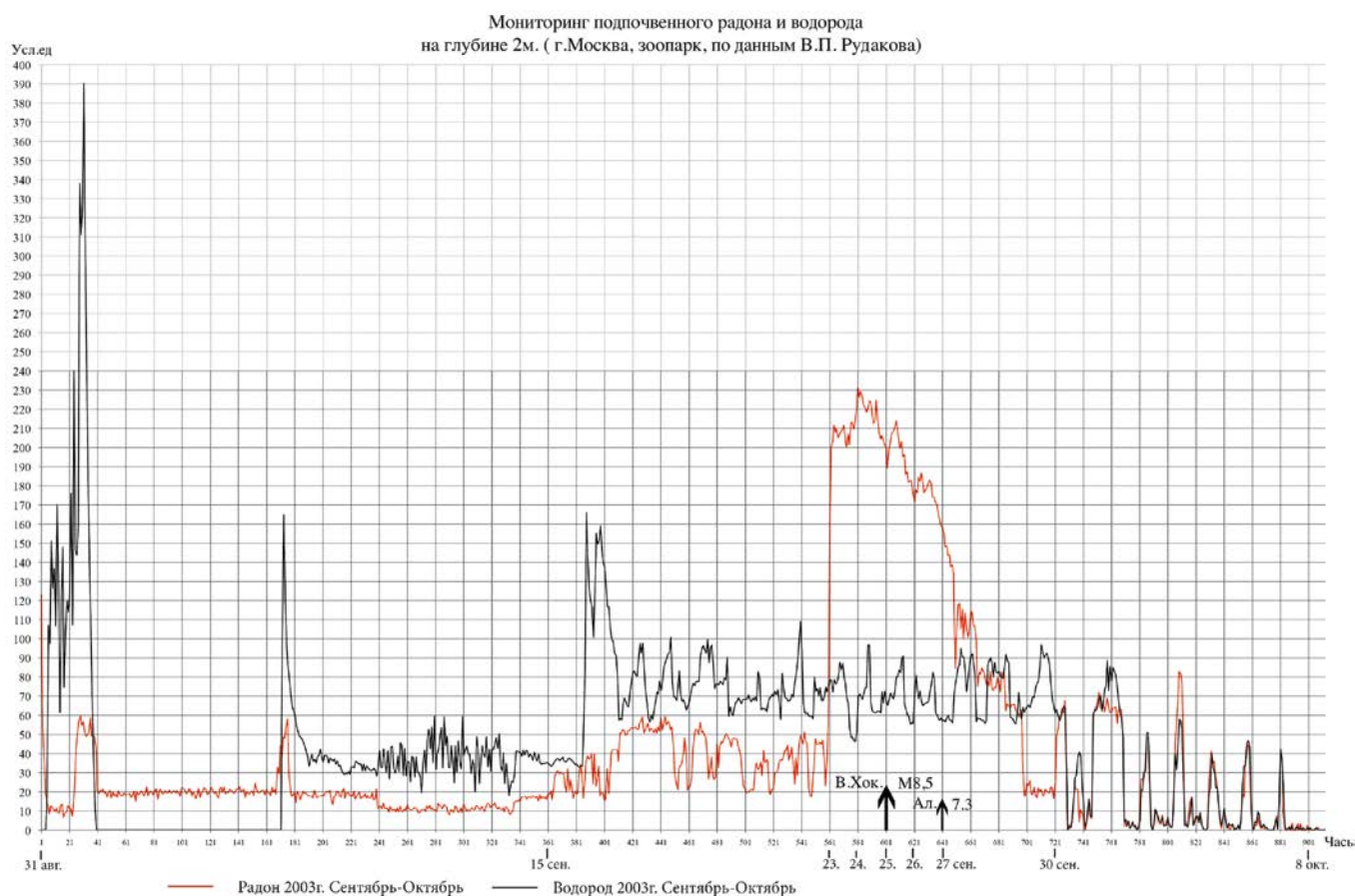


Рис. 12. Мониторинг радона и водорода в период сентябрь-ноябрь 2003 г. по данным исследования В.П. Рудакова

радона во флювиогляциальных песках 152 Бк/л, в 1 м³ породы — 152×200=30400 Бк. По абсолютным отметкам в скв. № 3 приток воды равен 182–123=+59 м, а в роднике, расположенном выше юрского водоупора а.о. +145 м. Следует учесть наличие на этом участке мощной зоны аэрации, включающей пески — вероятный источник подпочвенного радона. В верхних частях левого борта р. Сходня, выше родника, вокруг Хосписа засилье двухствольных деревьев — верного признака наличия подпочвенного радона. Таким образом, подземные воды четвертичных отложений обладают большей активностью радона, чем подземные воды в собственных разломах среднего карбона.

Предыдущие расчеты позволяют сделать вывод о пропорциональной зависимости между мощностью обломочных пород зоны аэрации и активностью радона. Минимальный показатель его активности был обнаружен нами в дренажном колодце аллювиальных песков ООО «Мережи». При мощности метрового слоя песка зоны аэрации, перекрытого суглинками, активность радона за неделю наблюдений не превысила 1200 Бк/м³.

Уточнение времени конвективного переноса радона из песчаного пласта к поверхности на глубину 1 м в суглинках позволило сопоставить время генерации радона сейсмическими событиями с точностью до одних суток (участок № 2).

Применением МГР-01 были зафиксированы аномалии ЭМИ, связанные с факельными выбросами радона, соответствующими некоторым землетрясениям. Наконец, мониторинг радона на ВЗУ «Южный» одновременно с мониторингом ЭМИ однозначно указал на связь аномалий с европейскими землетрясениями. Это особенно заметно в последнее время по Албанскому землетрясению (M — 6,6-тах на Земле 26.12.2019 г.). Уже с 22 декабря начались подвижки по разломам, отраженными аномалиями ЭМИ по двум регистраторам. Следовательно, обогащение радоном зоны аэрации началось за четверо суток до землетрясения и происходило во всей системе региональных разломов этого сектора. В Химкинском районе в это время возросло количество аварий на трубопроводах.

В заключение рассмотрим взаимодействие современных тектонических нарушений и сопутствующих радоновых аномалий зоны аэрации с полем атмосферного давления. З.Б. Чистова и др. [17] установили факт постоянного «дефицита» атмосферного давления над участками современных нарушений Северо-Русской плиты, объясняя это явление преимущественной дегазацией легких газов (H₂ и He).

В августе 2016 г. нами были проведены опыты по неоднократному замеру колебаний атмосферного давления на разведочном профиле (рис. 1). Замеры велись в дневное время вдоль профиля от 41 до 29 участков при стоянии прибора на каждом из них в течение 20 мин с последующим перемещением его на соседний участок. Общий цикл дневного замера 4 часа 20 мин (13 участков). В результате был получен ряд профилей колебания давления вдоль всех участков для каждого цикла замеров со следующими характеристиками кривых:

- монотонное повышение давления Dh=+2,3 мм р.с.;
- монотонное снижение давления Dh=-3,1 мм р.с.;
- синусоидальные колебания давления с амплитудой до 0,8 р.с.;

- линейное повышение давления от 41 до 37 участка (Dh=3,1 мм р.с.) с последующим падением давления на 36 участке Dh=1,2 мм р.с. и дальнейшим синусоидальным снижением давления до 29 участка (Dh=0,1 р.с.);

- линейное снижение давления от 41 до 38 участка (Dh=1,8 мм р.с.) с последующим линейным возрастанием давления от 38 до 29 участка (Dh=4,8 мм р.с.).

Первые три кривых отражают естественное дневное изменение давления. Два последних графика фиксируют положительную или отрицательную аномалию давления над фоном в зоне радоновой аномалии. Обе из них больше чем на порядок превышают точность замеров давления. Одно из объяснений может быть связано со сдвиговыми процессами в современных нарушениях, сопровождающимися дилатансией пород и подсосом воздуха в зоне аэрации при разрежении и выбросом его при сжатии. Аналогичные процессы большего масштаба происходили, вероятно, во время катастрофы на шахте «Распадская» 09.05.2010 г. в условиях мощной зоны аэрации. В Московском артезианском бассейне эффект дилатансии в системе современных нарушений в июле-августе 1999 г. отражен в нашей работе [9].

Формирование участков пониженного давления над зонами активизации современных нарушений может служить триггером, вызывающим торнадо, такое явление наблюдалось в Красногорском районе 03.06.2009 г., когда вдоль долготного тектонического нарушения было уничтожено 50 га преимущественно двухствольного соснового леса — индикатора аномалий подпочвенного радона [9].

Выводы

1. Формирование аномального подпочвенного радона сосредоточено в обломочных породах зоны аэрации современных тектонических нарушений.

2. Эманация радона выделяется при повреждении кристаллических решеток пород под воздействием тектонических возмущений (в песках, песчаниках, известняках и т.д., но не в глинистых разностях).

3. Поведение подпочвенного радона определяется динамикой НДС ЗК, начиная с ежесуточных приливных сил и кончая сдвиговыми процессами системы современных тектонических нарушений, включая эффект дилатансии.

4. Процессы деформации разного масштаба современных тектонических нарушений могут происходить за несколько суток до соотносимыми с ними по времени региональными и глобальными сейсмическими событиями.

5. Мониторинг ЭМИ подтверждает предыдущее положение.

6. Аномальный подпочвенный радон — основной источник радона в подземных водах, привносится из зоны аэрации при инфильтрации осадков по ослабленным зонам современных тектонических нарушений.

7. Современные тектонические нарушения — основные пути попадания радона из зоны аэрации в глубокие водоносные горизонты и в меньшей степени — проводники глубинного радона в сочетании с водородом.

8. Существует возможность картирования современных тектонических нарушений с аномальным радонам по расположению дихотомичных деревьев.

В исследованиях и оформлении статьи неоценимую помощь оказали С.Г. Бирюков, О.В. Бородин, В.Л. Воронин, С.Л. Карлинский, С.Ю. Малышков, В.Д. Манукьян, Ю.В. Манукьян, А.С. Низов, В.В. Чудов, которым автор выражает искреннюю признательность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин, В.В. Физические поля в приповерхностной геофизике / В.В. Адушкин, А.А. Спивак. — М.: ГЕОС, 2014. — 359 с.
2. Алексеев, В.К. Геодинамическое районирование территории Московской области / В.К. Алексеев, А.С. Батугин, И.М. Батугина, И.В. Гаранкин, А.М. Калинин, И.М. Петухов, П.И. Челиан. — Ступино: СМТ, 2003. — 125 с.
3. Дорожко, А.Л. Геодинамические активные зоны и линеаменты Москвы и их геологическое значение / А.Л. Дорожко, В.М. Макеев, Г.И. Батрак, И.А. Позднякова // Геозкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. — 2017. — № 2. — С. 147–157.
4. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. Кн. 2. Микросейсмичность / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. — Петрозаводск, 2007. — С. 26–28.
5. Карта аномалий Подмосквья. 1:200 000. — М., 2000.
6. Малышков, Ю.П. Эксцентричное вращение ядра и оболочки Земли, возникновение деформационных волн и их практическое использование. Монография / Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков. — Томск, 2010. — 18 с.

7. Малышков, Ю.П. Взаимосвязь импульсных электромагнитных полей Земли с движением тектонических блоков и землетрясениями / Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков, В.Ф. Гордеев. — Томск, 2000. — 38 с.

8. Манукьян, В.А. Влияние геодинамической активности земной коры на водонапорную систему южного склона Московского артезианского бассейна / В.А. Манукьян, О.В. Пинигин // Недропользование. — 2010. — № 1. — С. 72–80.

9. Манукьян, В.А. Глобальные проявления флюидодинамических эффектов в современных нарушениях земной коры / В.А. Манукьян // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 10. — С. 17–21.

10. Микляев, П.С. Научные основы оценки потенциальной радоноопасности платформенных территорий: Автореф. д. геол.-мин. наук / П.С. Микляев. — М., 2015.

11. Москва. Геология и город / Ред. Медведев О.П., Осипов В.И., 1997 г.

12. Николаевский, В.Н. Геомеханика и флюидодинамика / В.Н. Николаевский. — М.: Недра, 1996. — 408 с.

13. Спивак, А.А. Пространственно-временные вариации природного радона в подпочвенной атмосфере / А.А. Спивак, С.А. Кожухов // ДАН. — 2004. — Т. 394. — № 5. — С. 1–3.

14. Спивак, А.А. Особенности геофизических полей в разломных зонах / А.А. Спивак // Физика Земли. — 2010. — № 4. — С. 55–61.

15. Спивак, А.А. Эманация радона как индикатор интенсивности межгеосферных взаимодействий на границе земная кора — атмосфера / А.А. Спивак, С.А. Кожухов, М.В. Сухоруков, В.А. Харламов // Физика Земли. — 2009. — № 2. — С. 34–48.

16. Титаева, Н.А. Ядерная геохимия / Н.А. Титаева. — М.: МГУ, 1992.

17. Чистова, З.Б. Современная дегазация разломов Северо-Русской плиты / З.Б. Чистова, Ю.Г. Кутинов, А.Л. Минеев // Активные разломы и их значения для оценки сейсмической опасности: современное состояние, проблемы: XIX научно-практ. конф. с международным участием. — Воронеж: Изд. «Научная книга». — 2014. — С. 440–445.

© Манукьян В.А., 2020

Манукьян Валентин Ашикович // manval36@gmail.com

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 550.4:552.11

Робертус Ю.В.¹, Степанов В.А.², Рихванов Л.П.³, Любимов Р.В.¹, Ильенок С.С.³ (1 — ИВЭП СО РАН, 2 — НИГЦ ДВО РАН, 3 — НИТПУ)

О ПРИРОДЕ И ПЕРСПЕКТИВАХ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ОТХОДОВ ПЕРЕДЕЛА РТУТНЫХ РУД АКТАШСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

*Впервые получены данные о промышленной золотоносности шламов, образованных при переделе ртутных руд Акташского месторождения. Установлена прямая зависимость между содержанием ртути и золота в отходах переработки руд и загрязненных ими почвах. Предполагается нахождение золота в отходах в виде амальгамы и ртутистого золота. Обоснован техногенно-ремобилизованный тип золотоносности отходов передела руд. **Ключевые слова:** Акташское месторождение, отходы, ртуть, золото, амальгама, ремобилизация.*

Robertus Yu.V.¹, Stepanov V.A.², Richvanov L.P.³, Lubimov R.V.¹, Ilyenok S.S.³ (1 — IWEP SB RAS, 2 — SRGTC FEB RAS, 3 — SRTPU)

ABOUT THE NATURE AND PROSPECTS OF GOLD CONTENT OF WASTE OF PROCESSING OF MERCURY ORES OF THE AKTASH DEPOSIT (GORNYY ALTAI)

*Data on the industrial gold content of sludge formed during the processing of mercury ores of the Aktash Deposit were obtained for the first time. A direct relationship between the content of mercury and gold in ore processing waste and contaminated soils has been established. The presence of gold in the waste in the form of amalgam and mercury gold is assumed. Technogenically remobilized type of gold content of ore processing waste was justified. **Keywords:** Aktash deposit, waste, mercury, gold, amalgam, remobilization.*

Введение

В период 1942–1990 гг. Акташским рудоуправлением Минцветмета СССР было отработано одноименное месторождение ртути на юго-востоке Горного Алтая.