

## МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА ДЛЯ ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ

© 2020 г. В. В. Удоратин<sup>1</sup>, \*, Ю. Е. Езимова<sup>1</sup>, \*\*, А. Ш. Магомедова<sup>1</sup>, \*\*\*

<sup>1</sup>Институт геологии им. академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

\*E-mail: udoratin@geo.komisc.ru

\*\*E-mail: ezimova89@mail.ru

\*\*\*E-mail: asmagomedova@geo.komisc.ru

Поступила в редакцию 07.08.2018 г.

После доработки 10.07.2019 г.

Принята к публикации 07.10.2019 г.

В статье представлены результаты мониторинга объемной активности радона (ОАР) в почвенном воздухе на восьми полигонах, расположенных как в разломных зонах, так и за их пределами. Пролегена зависимость изменения объемной активности радона от глубины скважины, времени суток и метеопараметров, главным из которых является температура. На основе всех собранных материалов определены оптимальные условия для проведения профильных радоновых работ с целью выделения разломных зон в платформенных условиях.

*Ключевые слова:* объемная активность радона, эманационная съемка, почвенный воздух, платформенная область.

DOI: 10.31857/S0002333720040092

### ВВЕДЕНИЕ

Эманационная съемка – один из старейших методов радиометрической разведки, широко используемый для решения фундаментальных задач сейсмологии при решении прикладных задач инженерной и промысловой геофизики [Рудаков, 2009].

Эманационная съемка относится к доступным, экспрессным и дешевым геофизическим методам, которые используются для поиска радиоактивных руд, залежей углеводородов [Киляков, 2013], обнаружения и трассирования тектонических нарушений [Семинский, 2009; Удоратин, 2017], прогноза сейсмических событий [Уткин, 2010] и вулканической активности [Neri, 2016]. В России в последнее время радоновая съемка активно используется для поиска и изучения кимберлитовых тел в Архангельской области [Киселев, 2016], Якутии [Семинский, 2017]. Нами такие работы проводились на территории Среднего Тимана в пределах Умбинской, Среднинской и Водороздельной кимберлитовых трубок взрыва [Магомедова, 2015; 2017].

Использование радоновой съемки в условиях территорий, перекрытых осадочным чехлом, к которым относится и Республика Коми, ставит перед нами задачу выбора соответствующей методики наблюдения, учитывающей различные факторы, влияющие на проведения исследований.

### ФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАДОНОВУЮ СЪЕМКУ

Понятием “радон” объединяется группа из 19 изотопов, из которых только три встречаются в природе. Они активно мигрируют в структурах континентальной коры с формированием аномалий в ее приповерхностной зоне. Определяющую роль в балансе природных изотопов радона играет  $^{222}\text{Rn}$  – продукт распада  $^{238}\text{U}$  (с периодом полураспада 3.82 суток), инертный газ, без запаха, цвета и вкуса. Намного меньшее значение имеет торон  $^{220}\text{Rn}$  – продукт распада  $^{232}\text{Th}$  с периодом распада 55 с. Еще менее значим короткоживущий актинон  $^{219}\text{Rn}$  с периодом полураспада 3.9 с [Андреев, 2011].

Радон генерируется через ряд распада  $^{238}\text{U}$ , производящего несколько изотопов с длительным периодом полураспада ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ), которые обычно встречаются в гранитных, магматических, осадочных, метаморфических породах, поэтому он производится практически всеми типами пород и почв на разных глубинах [Lopez, 2016]. Среди осадочных пород наибольшей радиоактивностью обладают глины, глинистые сланцы, калийные соли и фосфориты. Также повышенной радиоактивностью обладают битумы и каменные угли, иногда песчаники и известняки, если они обогащены монацитовыми, глауконито-

выми фракциями. Высокая радиоактивность осадочных пород иногда связывается с пластовыми водами хлоркальциевого и сульфидно-кальциевого типа [Березина, 2014].

Кроме этого радон можно рассматривать, как глубинный газ, который поднимается по разломам и трещинам. Основным механизмом транспортировки к дневной поверхности выступает поток газов в форме микропузырьков. На глубинах в несколько тысяч километров, согласно современным исследованиям, пузырьки газотранспортеров ( $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ) обеспечивают основную процесс миграции тяжелых газов ( $He$ ,  $Rn$ ) [Фирстов, 2015].

В настоящее время радоновые исследования в геологии и геофизике проводятся во многих странах: Китае, Индии, Турции, Италии, Греции, США, Мексике, Японии и т.д. В России изучением радоновой проблемы занимались С.В. Анисимов, А.А. Бобров, Г.И. Войтов, С.В. Галиченко, А.Г. Григорян, К.Б. Данилов, М.В. Жуковский, Г.П. Киселев, П.В. Коваль, Н.О. Кожевников, И.А. Козлова, В.Т. Левшенко, П.С. Микляев, А.И. Овсяченко, В.П. Рудаков, К.Ж. Семинский, А.А. Спивак, М.В. Сухоруков, В.И. Уткин, П.П. Фирстов, А.В. Черемных, А.К. Юрков, Е.Ю. Яковлев, В.С. Яковлева и др. Нами проанализированы работы различных авторов, благодаря которым удалось выделить основные факторы, влияющие на динамику концентрации радона в почвенном воздухе на разных территориях.

В Сибири активно применяют радоновую съемку для изучения тектонически-активного Байкальского рифта и смежных пассивных участков земной коры. Детальная радоновая съемка для разнотипных разломов, выходящих на “дневную поверхность”, проводилась К.Ж. Семинским и А.А. Бобровым в районе западного Прибайкалья (Байкальский рифт) и Южного Приангарья (юг Сибирской платформы). В ходе исследований было установлено, что изученные дизъюнктивы выделяются в поле радона в виде широких зон аномальных значений объемной активности радона, поперечные размеры которых примерно в 1.4 раза больше ширины зоны повышенной трещиноватости, сформировавшейся в результате перемещения крыльев. Показано, что ОАР разломных зон при прочих равных условиях зависит от их размера, морфогенетического типа и степени тектонической активности в кайнозой. Она в среднем выше у рифтовых дизъюнктивов по сравнению с краевыми платформенными, больше у сбросов по отношению к сдвигам, возрастает с увеличением масштабного ранга и степени тектонической активности разлома, являющейся наиболее значимым геодинамическим фактором формирования эманационного поля [Семинский, 2009].

Поиски связи между содержанием радона в почвенном воздухе и изменениями напряженно-деформированного состояния геосреды на последней стадии подготовки сильных землетрясений усиленно проводятся в течение последних тридцати лет во всех сейсмоактивных регионах земли [Фирстов, 2014].

В.И. Уткин и А.К. Юрков описывают эксперименты, проведенные на Североуральском бокситовом руднике в шахтах на глубинах от 300 до 600 м, которые показали, что динамические изменения напряженного состояния горного массива вызывают изменения во времени величины эманации радона. При этом, в зависимости от расстояния от точки наблюдения до эпицентра будущего сейсмического события, эти изменения проявляются по-разному. В непосредственной близости от эпицентра будущего горного удара уменьшается выделение радона из массива горных пород. Заметное снижение содержания радона может начинаться за 15–20 ч до момента горного удара, и наблюдаются в радиусе до 100 м от координат будущего эпицентра. Эту зону условно называют “ближней зоной”. На расстоянии более 500 м от радиуса будущего эпицентра горного удара происходит резкое увеличение (8–10 раз) содержания радона. Эта зона была названа “дальней зоной”. Имеется и промежуточная зона, в которой концентрация радона практически не изменяется. Таким образом, было обнаружено явление пространственной зональности выделения радона в зависимости от расстояния до будущего эпицентра сейсмического события. При этом пространственные изменения динамики выделения радона носят явно выраженный нелинейный характер [Уткин, 2010].

Многие исследователи сопоставляют концентрацию радона в почвенном воздухе с суточными и сезонными колебаниями метеоусловий [Спивак, 2010; Семинский, 2011; Kulali et al., 2016].

А.А. Спивак описывает влияние атмосферного давления на эманацию радона, показывая, что интенсивность подземных флюидов напрямую связана с отличием термодинамических характеристик флюида на глубине и на земной поверхности. Одним из основных параметров, определяющих миграцию газов к земной поверхности, является атмосферное давление. Полученные им данные демонстрируют возрастание объемной активности почвенного радона при падении атмосферного давления. Минимумы соответствуют временным интервалам, когда атмосферное давление повышается [Спивак, 2010].

Авторы работы [Kulali et al., 2016] в своих исследованиях отмечают, что при суточных (краткосрочных) наблюдениях концентрация радона и влажность почвенного воздуха коррелируют положительно в отличие от температуры. Результаты длительного мониторинга показали, что самая

высокая концентрация радона наблюдается в конце зимы и ранней весной, когда погода относительно влажная и неустойчивая. Поскольку радон легко растворим в воде, но его растворимость снижается с температурой, зимой существуют оптимальные условия для его переноса на большие расстояния [Kulali et al., 2016].

М.В. Сухоруков и А.А. Спивак проводили профильные измерения ОАР в нескольких регионах России, которые характеризуются разной геодинамической активностью: Пачелмский и Московский авлакогены, Байкальская рифтовая зона, Курайская и Чуйская структуры на Алтае. Пункты наблюдения, где осуществлялись длительные измерения ОАР располагались на срединных участках тектонических нарушений. Вдобавок к экспериментальным данным была построена теоретическая модель изменения поля радона со временем на разных глубинах. Обобщение полученных материалов показало, что при отсутствии в изучаемом регионе приповерхностных источников радона значения ОАР монотонно увеличиваются с глубиной. Доказано, что временные вариации на разных глубинах синхронны, что свидетельствует о значительном вкладе в процесс переноса фильтрации и диффузии [Сухоруков, 2017].

Наряду с метеоусловиями часто в исследованиях отмечается зависимость концентрации радона в почвенном воздухе от солнечной активности.

Такая особенность при долгосрочных наблюдениях объемной активности радона с поверхности грунта была отмечена В.С. Яковлевой и ее коллегами. В своей работе они пишут, что в условиях “хорошей погоды” прослеживаются суточные вариации плотности потока радона с максимумом — в полночь и минимумом — в полдень. Различия между ночными и дневными значениями доходит до 2 раз [Яковлева, 2016].

Более детально исследуют суточную зависимость изменения объемной активности радона С.В. Анисимов, С.В. Галиченко и др. В своем исследовании авторы в течение длительного времени измеряли ОАР в приземном слое на территории Геофизической обсерватории “Борок”. В ходе исследований был сделан вывод, что вечером и ночью в результате формирования приземной инверсии температуры и распада конвективной турбулентности радон накапливается вблизи земной поверхности. Максимум концентрации достигается к моменту начала разрушения инверсии. Следовательно, при уменьшении градиента температуры в слое приземной инверсии вертикальный турбулентный перенос выделившегося радона происходит более активно. В результате корреляционного анализа, выполненного для 32 сут “хорошей погоды”, установлена положительная связь между максимальным за ночь приземным градиентом температуры и максималь-

ным значением объемной активности радона [Анисимов и др., 2017].

Факторы, влияющие на величину ОАР в почвенном воздухе и плотность потока радона (ППР), а также процессы эманации, диффузии и конвекции радона описывает в своей работе П.С. Микляев. Автор отмечает, что наибольшее влияние на поле радона оказывают деформации массива приповерхностных грунтов, а также степень заполнения пор водой. Колебания ОАР на глубинах до 1.5–3 м подчиняются примерно тем же закономерностям, что и колебания на поверхности грунтов. Радоновое поле уже на глубине более 1.5–3 м слабо связано с поверхностными факторами и практически не реагирует на такие параметры как температура, влажность, атмосферное давление [Микляев, 2015].

Таким образом, к основным факторам, влияющим на динамику концентрации ОАР в почвенном воздухе, относятся:

- 1) содержание материнских радиоактивных элементов (уран, торий, радий) в породах фундамента и осадочного чехла;
- 2) степень раздробленности и флюидопроницаемости пород, размеры, морфогенетический тип разломных зон;
- 3) геодинамическая обстановка;
- 4) метеоусловия (температура, влажность, атмосферное давление);
- 5) глубина скважины;
- 6) солнечная активность;
- 7) время накопления газа [Магомедова, 2017а].

Цель нашего исследования заключается в создании оптимальной экспрессной методики измерений ОАР в почвенном воздухе для локализации и трассирования разломных зон, перекрытых осадочным чехлом в пределах Тимано-Печорского региона, и выявление факторов, влияющих на динамику концентрации почвенного радона.

Объектом исследования является почвенный воздух в пределах разломных зон и вдали от них.

## АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

При выполнении в полевых условиях измерений ОАР применяли два измерительных комплекса: портативный радиометр РРА-01М-01 и комплекс “Альфарад плюс”, предназначенные для экспрессных измерений объемной активности и плотности потока  $^{222}\text{Rn}$  в воздухе, жилых помещений и на открытом воздухе. Наличие специальных пробоотборников позволяет проводить измерения содержания радона в воде, почвенном воздухе, определять ППР с поверхности почвы.

Измерение ОАР основано на электростатическом осаждении заряженных ионов  $^{218}\text{Po}$  (RaA) из отобранной пробы воздуха на поверхность полупроводникового детектора. Объемная активность

$^{222}\text{Rn}$  определяется по количеству зарегистрированных альфа-частиц при распаде атомов  $\text{RaA}$ , осевших на полупроводниковый детектор. Электрические импульсы, образующиеся под воздействием на детектор альфа-частиц, усиливаются зарядочувствительным предусилителем и поступают на вход амплитудно-цифрового преобразователя (АЦП) и далее обрабатываются микропроцессором. Импульсы, соответствующие альфа-частицам  $\text{RaA}$ , регистрируются счетчиком микропроцессора. Эффект, обусловленный накоплением  $\text{RaA}$  на поверхности детектора, не влияет на результаты последующих измерений в силу малого периода полураспада  $\text{RaA}$  [Радиометр ..., 2009; Комплекс ..., 2017].

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. РЕЗУЛЬТАТЫ

При выполнении мониторинга радона для изучения разломных зон на территории Тимано-Североуральского региона нами проводились исследования по совершенствованию методического подхода к проведению радоновой съемки и разработке оптимальной экспрессной методики измерения ОАР для платформенных областей.

Радоновые исследования выполнялись на территории Кировско-Кажимского (2012–2015 гг.), Печоро-Колвинского (2015–2016 гг.) авлакогенов, Среднего и Южного Тимана (2013–2017 гг.), Вычегодского прогиба (2014–2017 гг.).

В 2012 г. исследования осуществлялись с поверхности земли без учета метеоусловий. Начиная с 2013 г. замеры ОАР проводились из скважины глубиной 0.5 м и диаметром 0.1 м, помимо ОАР фиксировались температура, влажность, атмосферное давление и радиационный фон. При этом измерения начинались сразу после бурения скважины. Значения ОАР с поверхности земли в пределах разломных зон не превышали  $200 \text{ Бк/м}^3$ , за пределами разлома стремились к нулю, значения из скважины достигали сотни–тысячи  $\text{Бк/м}^3$ .

В 2017–2018 гг. нами проведены обобщающие работы на нескольких участках, находящихся в разломных зонах и за их пределами. Основная задача исследований заключалась в определении влияния различных факторов на величину объемной активности радона. Исследования выполнялись в летний период на восьми полигонах (рис. 1). Полигоны “Мещура” и “Усть-Нем” расположены в пределах Западно-Тиманского надвига, который разделяет Русскую и Тимано-Печорскую плиты. Полигоны “Шошка”, “Мордино”, “Фроловск” находятся на территории Вычегодского прогиба в пределах Сыктывкарской и Вычегодско-Локчимской разломных зон сбросового типа. Полигон “Серегово” приурочен к соляному куполу и его разрывной тектонике. На территории поселка Водный с 1931 по 1956 гг. работал завод

по производству радиевого концентрата. По этой причине на данной территории регистрируются повышенные значения ОАР и постоянный поток радона [Носкова, 2008]. Полигон “Сыктывкар” находится на территории радиобиологического комплекса, который в тектоническом отношении расположен в пределах Волго-Уральской антиклизы Русской плиты.

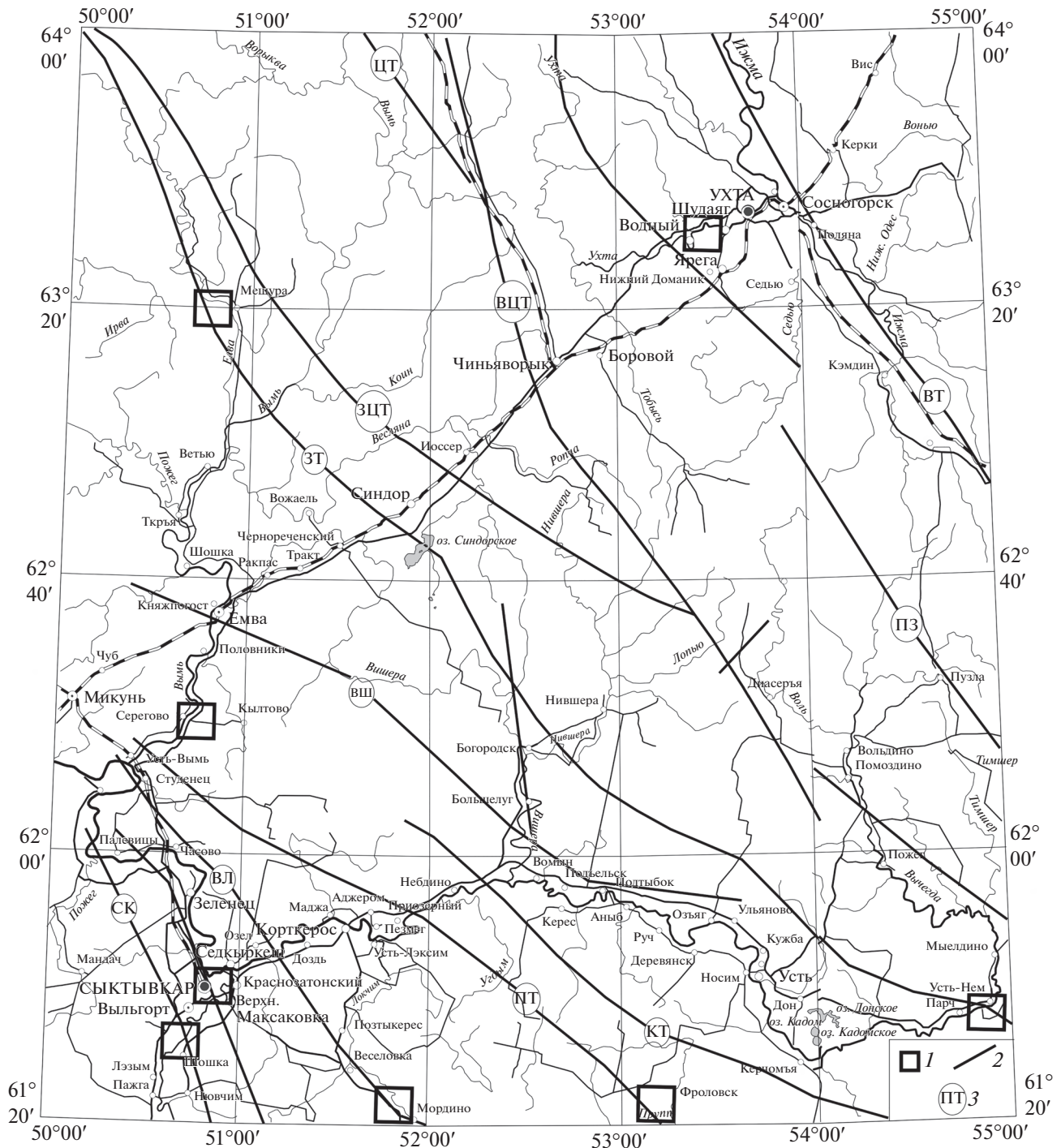
### Время накопления радона

Эксперименты по определению зависимости величины ОАР от времени накопления радона в скважине проводились на полигонах “Мещура”, “Шошка”, “Серегово”, “Усть-Нем”, “Мордино”, “Водный”. Для этого на полигонах бурились 10–15 скважин глубиной 0.5 м и диаметром 0.1 м, расстояние между которыми составило 1 м. В ходе измерения воздух поступает в накопительную камеру, расположенную на поверхности земли в устье скважины. На первой скважине измерения ОАР начиналось сразу же после бурения и продолжалось 25 мин, после чего обязательно осуществлялась прокачка системы окружающим воздухом в течение пяти минут. Затем замеры продолжались на следующей скважине и так далее. Такие последовательные измерения различаются временем накопления газа в скважине.

Как видно на рис. 2, диапазон и характер изменения ОАР на каждом полигоне различный. Однако для всех графиков характерно минимальное значение ОАР в первой скважине, где замер осуществлялся без накопления газа. На полигонах “Мещура” и “Водный” (рис. 2а, 2б) наблюдается резкое повышение показателей ОАР через 30 минут после бурения, затем происходит их стабилизация с незначительными отклонениями от среднего значения. В отдельных случаях, как на участках “Шошка” и “Серегово”, прослеживается ступенчатая и пилообразная форма графиков ОАР, варьирующаяся в пределах средних значений (рис. 2в, 2г). Таким образом, бурение скважины способствует нарушению сплошности грунта и увеличению порового пространства, за счет чего происходит высвобождение свободного радона из пор и накопление в скважине в течение первых 30–60 мин. На протяжении остального времени благодаря высокой проницаемости четвертичных отложений начинается поступление радона из соседних объемов грунта. Это объясняет увеличение и стабилизацию ОАР в скважине в течение длительного периода.

### Глубина скважины

Исследования зависимости динамики ОАР от глубины скважины проводились на полигоне “Водный”. Четвертичные отложения представлены песками. Измерения выполнялись двумя способами. При этом, отбор проб воздуха осуществ-

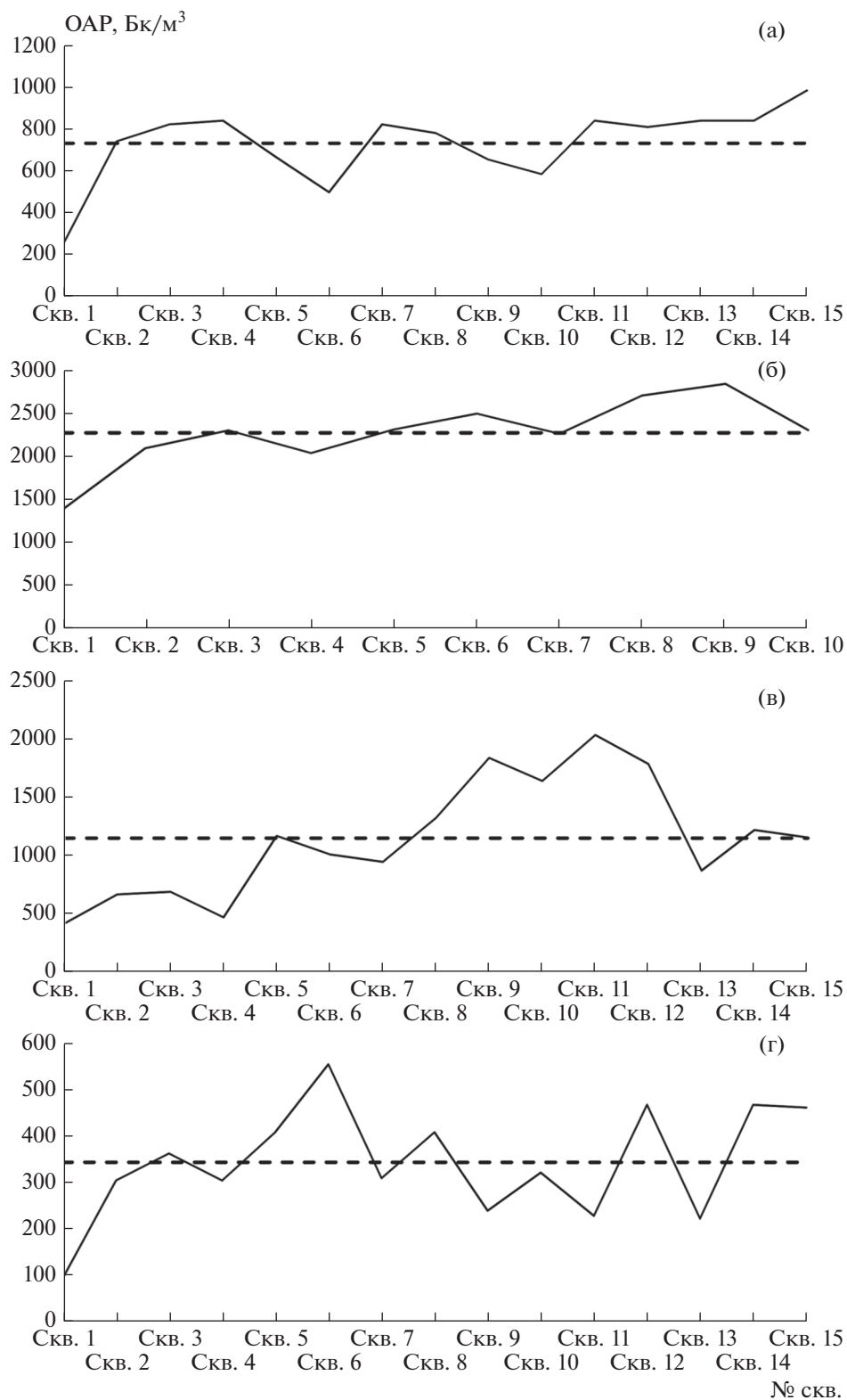


**Рис. 1.** Схема района работ: 1 – участки исследований, 2 – разломы, 3 – название разломов: СК – Сыктывкарский, ВЛ – Вычегодско – Локчимский, ПТ – Предтиманский, КТ – Кельтминский, ВШ – Вишерский, ЗТ – Западно-Тиманский, ЗЦТ – Западно-Центрально-Тиманский, ЦТ – Центрально-Тиманский, ВЦТ – Восточно-Центрально-Тиманский, ВТ – Восточно-Тиманский, ПЗ – Пузлинский.

лялся при помощи накопительной камеры, плотно закрывающей скважины.

Первый способ подразумевает измерения ОАР из разных скважин, которые характеризуются глубиной: 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5 и 1.75 м. Ко-

личество замеров из каждой скважины 6 раз, время одного измерения 20 минут. Анализ полученных данных показал, что минимальные значения ОАР регистрируются из скважины глубиной 0.25 м, то есть в почвенном слое (рис. 3). Начиная с глуби-



**Рис. 2.** Графики зависимости ОАР от времени накопления газа на разных участках: (а) – “Мещура”, (б) – “Водный”, (в) – “Шошка”, (г) – “Серегово”; пунктирная линия – среднее значение ОАР.

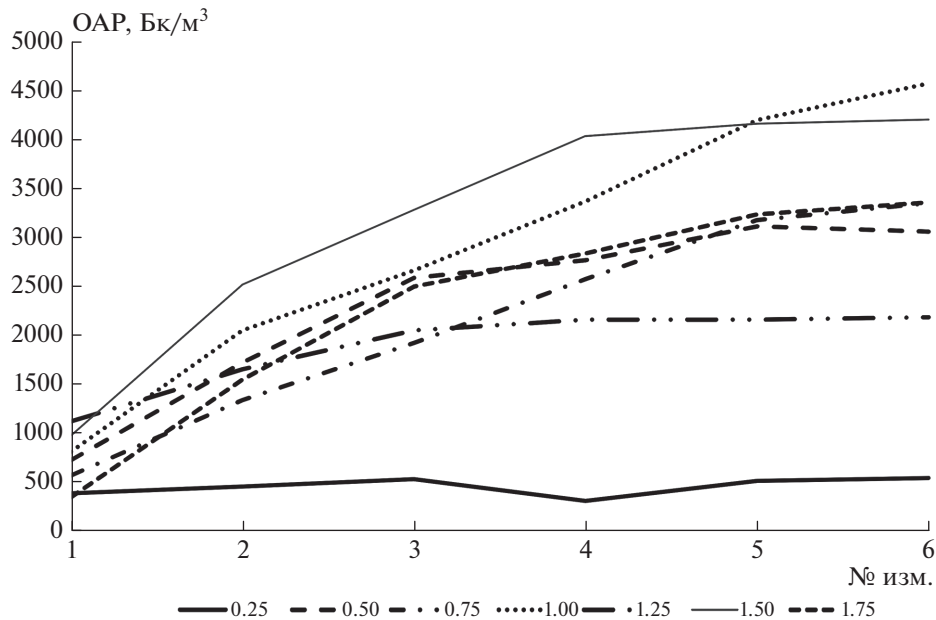


Рис. 3. График зависимости ОАР от глубины скважины на полигоне “Водный” (разные скважины).

ны 0.5 м значения повышаются, максимальная ОАР отмечается из скважины глубиной 1–1.5 м.

Второй способ предполагает измерения ОАР из одной скважины с постепенным увеличением ее глубины. Отбор пробы из скважины одной глубины выполнялся по пять раз подряд, время одного замера составляло 20 мин. Измерения осуществлялись из скважин глубиной 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 и 1.25 м. В качестве примера на рис. 4 представлен график зависимости ОАР от постепенного увеличения глубины скважины, который демонстрирует, что значения концентрации радона при глубинах скважины 0.25, 0.5, 0.75 м находятся в одном диапазоне, при глубине 1–1.25 м происходит резкое увеличение ОАР.

Также нами проводился непрерывный мониторинг ОАР в течение 21 ч с одной скважины с увеличением ее объема. На рис. 5 видно, что ОАР постепенно возрастает с увеличением глубины скважины. Для всех глубин характерно повышение ОАР в ночное время суток.

Анализируя полученные данные, можно говорить о том, что:

- ОАР зависит от объема скважины, который изменяется за счет ее глубины.

- ОАР повышается в ночное время суток при любом объеме скважины.

- Оптимальная глубина скважины при профильных измерениях с разных скважин должна составлять 0.5 м.

### Температура

Для проверки зависимости ОАР от метеопараметров, таких как температура, влажность и атмосферное давление неоднократно проводился непрерывный суточный мониторинг на полигонах “Мещура”, “Мордино”, “Водный”, “Сыктывкар”, “Фроловск”. В качестве примера на рис. 6 изображен график суточной зависимости ОАР от температуры на полигоне “Фроловск”. За 3.5 сут мониторинга повышение температуры регулярно наблюдается с 6:00–7:00 до 15:00–16:00, и в это же время происходит значительное понижение ОАР. Похожая картина наблюдается и на других полигонах. Полученные результаты указывают на обратную зависимость величины ОАР от температуры.

### Влажность

При измерении ОАР воздух из скважины проходит через патрон-осушитель, наполненный силикагелем, после чего попадает в камеру радиометра. Когда реальная влажность почвенного воздуха практически 100%, то после осушения в камере радиометра влажность достигает 40%. В сухую погоду составляет 20–30%. Таким образом, между реальной влажностью почвенного воздуха и влажностью в камере радиометра существует прямая зависимость.

Как показано на рис. 7 наблюдается корреляция между динамикой ОАР и влажностью в почвенном воздухе. В утренние и дневные часы с 6:00–7:00 до 15:00–16:00, когда влажность начинает резко понижаться, ОАР также убывает. Та-



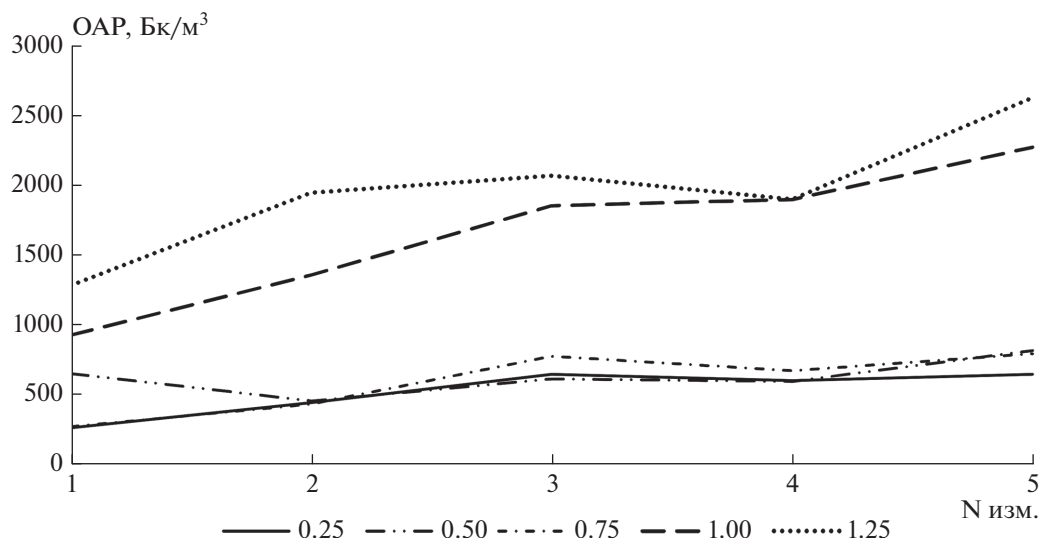


Рис. 4. График зависимости ОАР от глубины скважины на полигоне “Водный” (одна скважина).

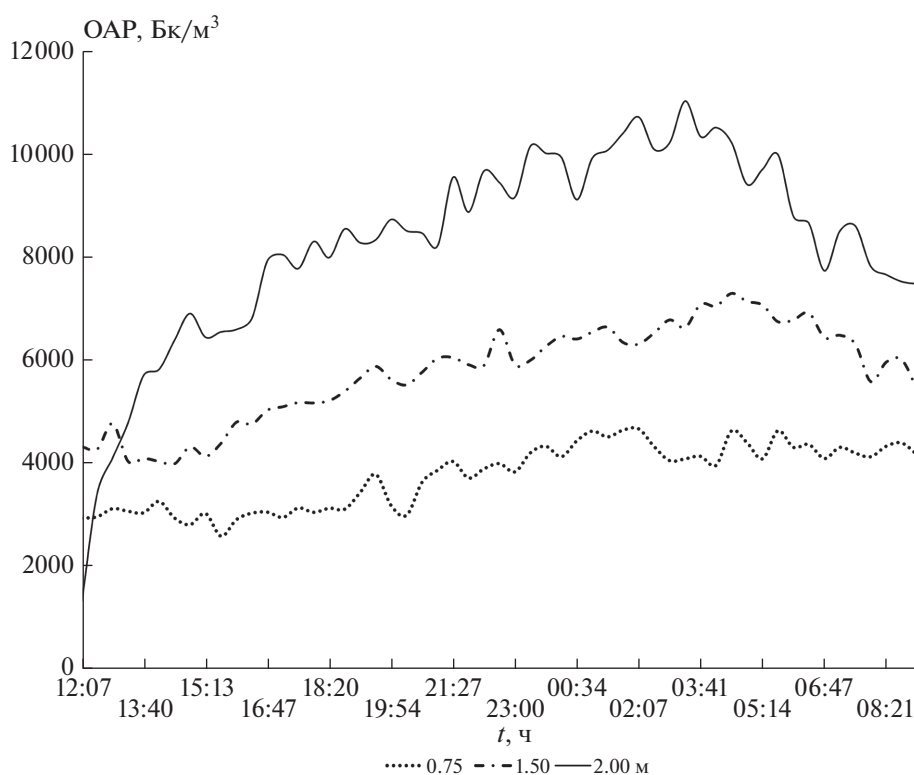


Рис. 5. График зависимости ОАР от глубины скважины на полигоне “Водный” (одна скважина).

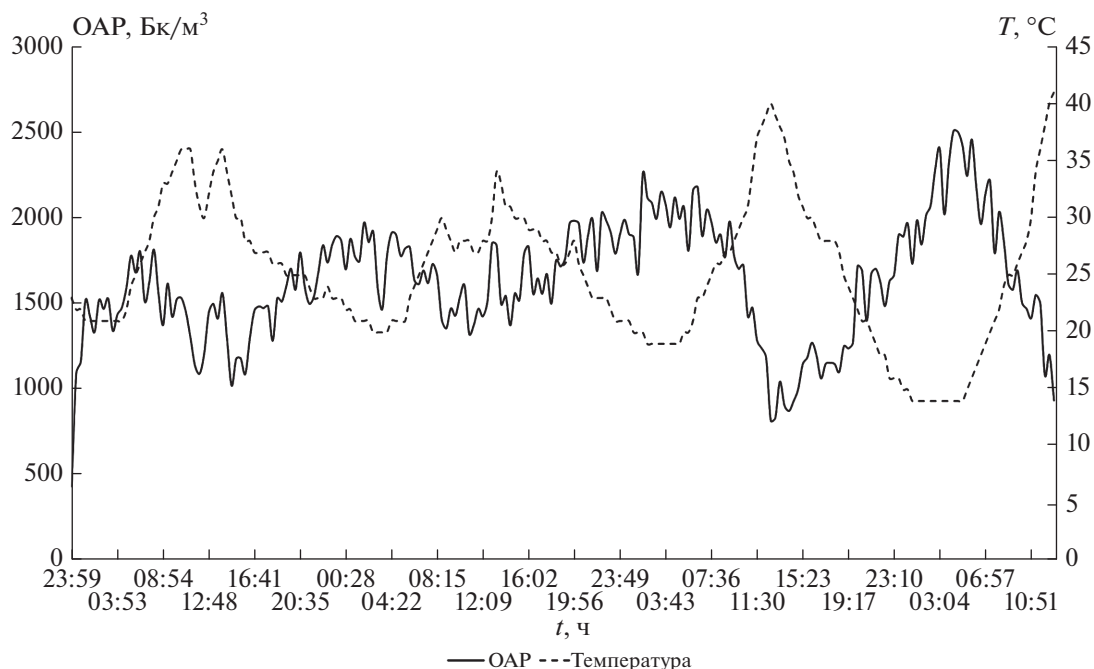
кая зависимость прослеживается не на всех участках. Так, например, на полигоне “Сыктывкар”, где мониторинг проводился в течение 3 сут, лишь в некоторые промежутки времени можно наблюдать корреляцию двух параметров (рис. 8). В дождливую погоду, в целом, для данного участка характерны невысокие показатели и сильные ва-

риации ОАР на протяжении всего периода измерений.

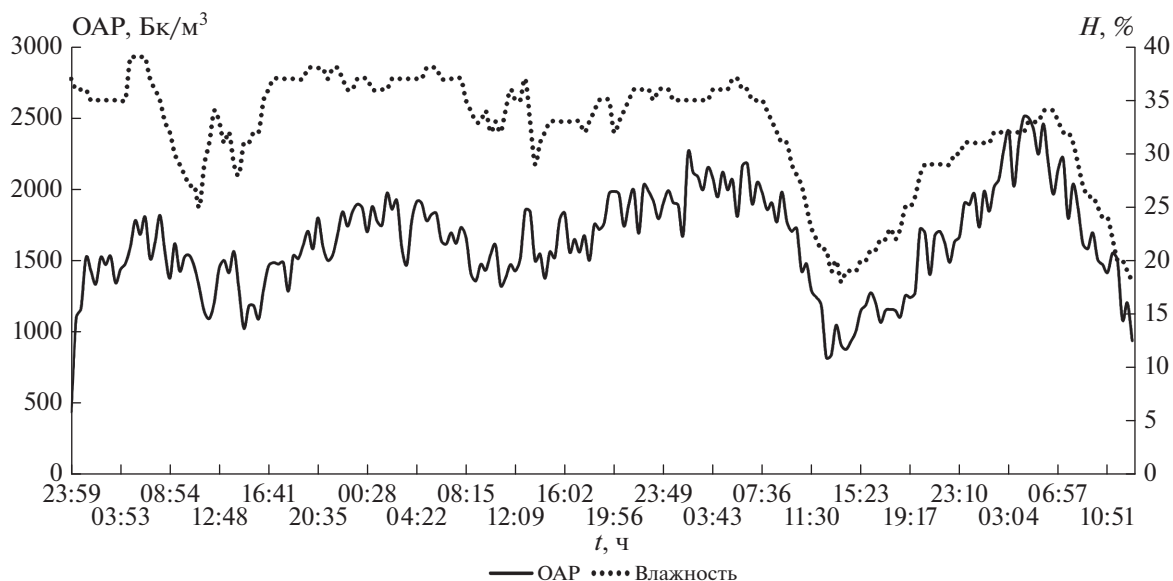
#### Атмосферное давление

На рис. 9 представлен график зависимости ОАР от атмосферного давления по данным, со-





**Рис. 6.** График сопоставления суточной динамики ОАР в почвенном воздухе и температуры на полигоне "Фроловск" в период с 26.06.2018 по 29.06.2018 гг.



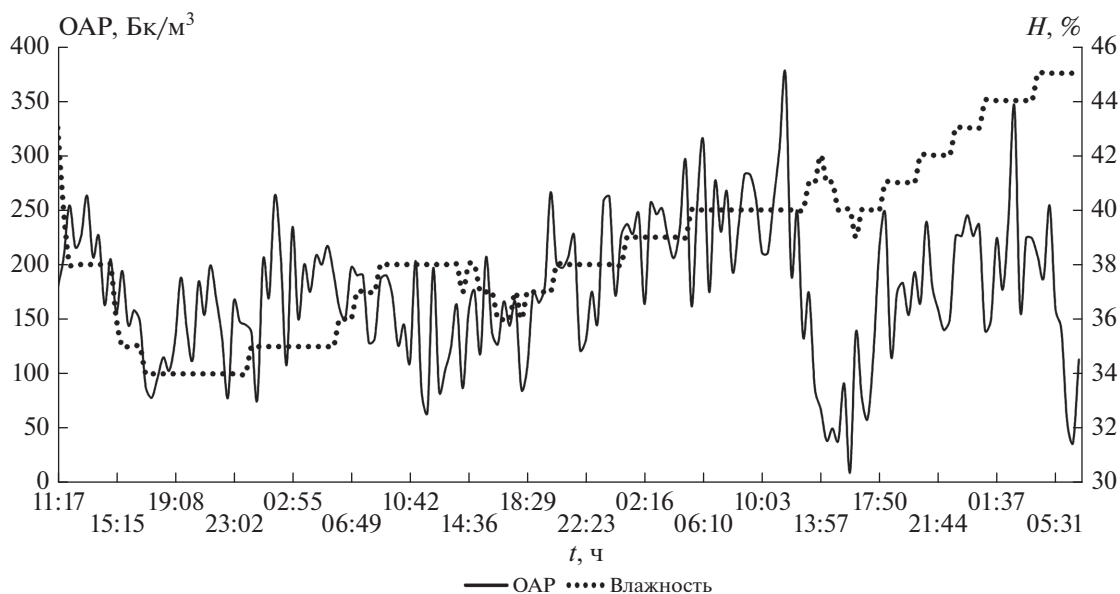
**Рис. 7.** График сопоставления суточной динамики ОАР в почвенном воздухе и влажности грунта на полигоне "Фроловск" в период с 26.06.2018 по 29.06.2018 гг.

бренным на полигоне "Водный" в период с 18.06.2018 по 20.06.2018 гг. В это время зарегистрирован самый большой разброс значений атмосферного давления (751–738 мм рт. ст.). Исходя из полученных графиков, явной зависимости ОАР от атмосферного давления в период исследований не прослеживается. Возможно, необхо-

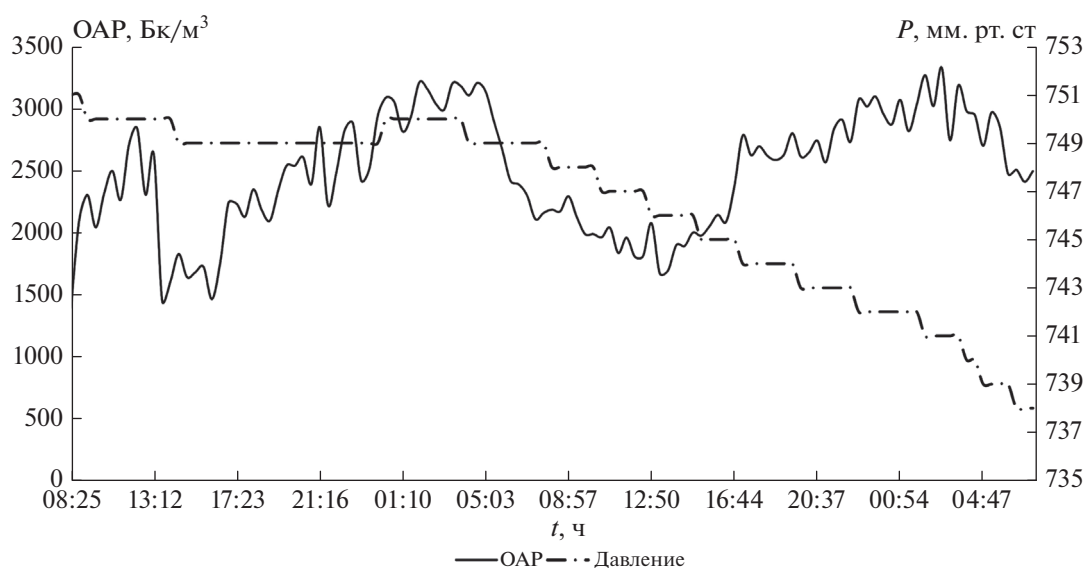
димо увеличить период непрерывных измерений, чтобы выявить корреляцию этих параметров.

Из всего сказанного, можно сделать следующие выводы:

– существует обратная зависимость между ОАР и температурой;



**Рис. 8.** График сопоставления суточной динамики ОАР в почвенном воздухе и влажности грунта на полигоне "Сыктывкар" в период с 06.07.2018 по 09.07.2018 гг.



**Рис. 9.** График сопоставления суточной динамики ОАР и атмосферного давления на полигоне "Водный" в период с 18.06.2018 по 20.06.2018 гг.

— в большинстве случаев можно проследить прямую зависимость между изменениями ОАР и влажностью;

— для выявления связи между динамикой ОАР в почвенном воздухе и атмосферным давлением необходимо увеличить период непрерывных измерений.

### Суточный мониторинг

Суточный мониторинг ОАР в почвенном воздухе выполнялся по 2–4 сут на полигонах "Мешура", "Мордино", "Фроловск", "Сыктывкар",

"Водный". Отбор пробы осуществлялся со скважин, глубиной 0.75 м, реже 1.5 и 2 м. Собранные экспериментальные данные показывают, что существуют суточные изменения ОАР с наибольшими значениями в ночное время суток и минимальными — в дневное время (см. рис. 6–рис. 10). Разница между ночными и дневными значениями составляет 2–2.5 раза. Максимальный пик ОАР приходится на 3:00–4:00 ч, минимальный — на 14:00–15:00 ч. На общем фоне плавного поднятия и опускания наблюдаются колебания ОАР, не превышающие 1600 Бк/м³ ночью и 1200 Бк/м³ днем. Такой суточный ход ОАР нами связывается, глав-

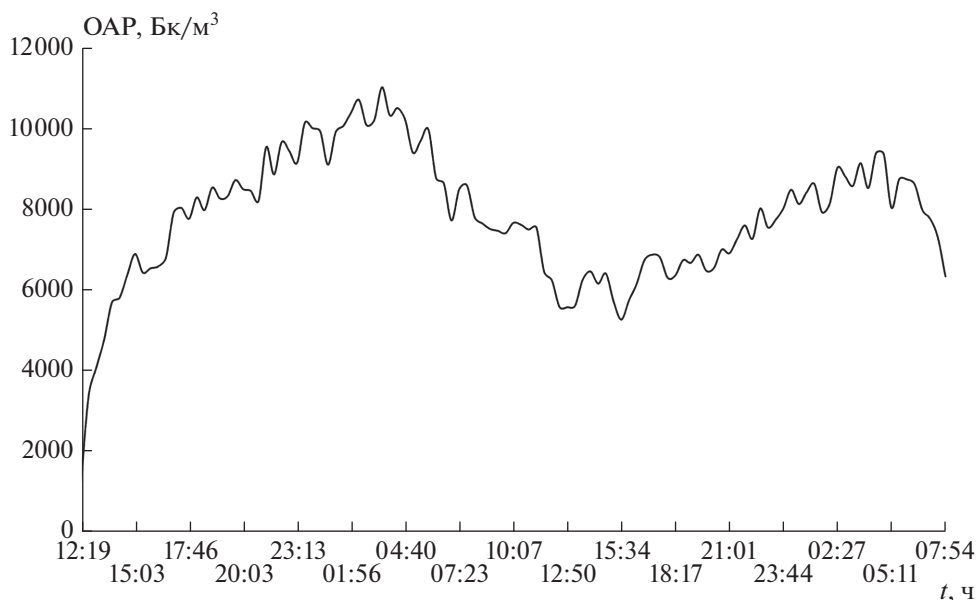


Рис. 10. Суточная динамика ОАР на полигоне “Водный” в период с 16.06.2018 по 18.06.2018 гг.

ным образом, с суточными вариациями температуры.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, на основе проведенных исследований, представлены результаты мониторинга ОАР в почвенном воздухе на восьми полигонах. Прослежена зависимость изменения объемной активности радона от глубины скважины, времени суток и метеопараметров, главным из которых является температура:

- существует обратная зависимость между ОАР и температурой;
- в большинстве случаев можно проследить прямую зависимость между изменениями ОАР и влажностью;
- существуют суточные вариации ОАР с максимальными значениями в ночное время суток и минимальными — в дневное время;
- ОАР в почвенном воздухе постепенно увеличивается с глубиной, что можно объяснить увеличением площади и объема исследуемого участка;
- ОАР повышается на всех исследуемых глубинах в ночное время суток;
- характер графиков ОАР с различных глубин похожий, однако значения с глубины 0.25 м незначительны, что делает их нечувствительными;
- время накопления радона до средних значений должно составлять не менее 30 мин.

На основе всех собранных материалов определены оптимальные условия для проведения профильных радоновых работ с целью выделения разломных зон в платформенных условиях:

1. Измерения ОАР из скважины следует начинать не ранее, чем через 30–60 мин после бурения скважины;

2. Бурение скважины необходимо для уменьшения влияния почвенного слоя. Глубина скважины для профильных измерений должна составлять не менее 0.5 м, которая является оптимальной с учетом затрат на бурение.

3. Поскольку температура является основным фактором, влияющим на динамику ОАР, профильные радоновые исследования рекомендуется выполнять в промежутки времени со стабильными метеорологическими параметрами, а именно с 10:00 до 17:00 или с 22:00 до 6:00.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев А.И., Коковкин А.А., Медведева М.Б. Радон как индикатор сейсмогеодинамической активности // Безопасность в техносфере. 2011. № 5. С. 8–13.
- Анисимов С.В., Галиченко С.В., Афиногенов К.В., Макрушин А.П., Шихова Н.М. Объемная активность радона и ионообразование в невозмущенной нижней атмосфере: наземные наблюдения и численное моделирование // Физика Земли. 2017. №1. С. 155–170.
- Березина Е.В. Приземные концентрации и потоки радона-222 на территории России, и оценки биогенных эмиссий углекислого газа, метана и сухого осаждения озона. Дис. ...канд. физ.-мат. наук. М.: Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН. 2014. 136 с.
- Киляков А.В. История развития эманационных методов и их роль в нефтяной геологии на современном этапе // Изв. Саратовского университета Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2013. Т. 13. Вып. 2. С. 57–60.
- Киселев Г.П., Данилов К.Б., Яковлев Е.Ю., Дружинин С.В. Радиометрические и сейсмометрические исследования

- ния кимберлитовой трубки Чидвинская (Архангельская алмазоносная провинция) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 2. Вып. № 30. С. 43–53.
- Комплекс* измерительный для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов “Альфарад плюс”. Руководство по эксплуатации. Москва, 2017. 81 с.
- Магомедова А.Ш., Удоратин В.В., Езимова Ю.Е.* Отражение разломных зон и трубок взрыва Среднего Тимана в геофизических полях // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 10. С. 28–34.
- Магомедова А.Ш., Удоратин В.В., Езимова Ю.Е.* Детальные исследования локальных магнитных аномалий Среднего Тимана // Изв. Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 4 (32). 2017. С. 49–59.
- Магомедова А.Ш., Езимова Ю.Е., Удоратин В.В.* Вариации объемной активности радона в почвенном воздухе юга Республики Коми. Материалы 26-й научной конференции Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар. 2017а. С. 113–117.
- Микляев П.С.* Научные основы оценки потенциальной радоноопасности платформенных территорий. Дис. .... канд. геол.-мин. наук. Москва: Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН. 2015. 307 с.
- Носкова Л.М., Шуктомова И.И., Кичигин А.И.* Радиационная обстановка на территории радиевого промысла в Республике Коми // АНРИ 2008. №1. С. 28–31.
- Радиометр радона портативный РРА-01М-01. Руководство по эксплуатации М. 2009. С. 28.
- Рудаков В.П.* Эманационный мониторинг геосред и процессов. М.: Научный мир. 2009. 176 с.
- Семинский К.Ж., Бобров А.А.* Радоновая активность разнотипных разломов земной коры (на примере Западного Прибайкалья и Южного Приангарья) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 8. С. 881–896.
- Семинский К.Ж., Бобров А.А.* Временные вариации радоновых эманаций из разломов земной коры: первые результаты мониторинга в центральной части Байкальского рифта. Материалы IX Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике. 2011. С. 107–111.
- Семинский К.Ж., Бобров А.А., Оленченко В.В.* Электро-томография и радоновая съемка кимберлитовмещающих разломных зон Алакит-Мархинского поля в западной Якутии: опыт применения // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI. № 3. С. 3–12.
- Спивак А.А.* Особенности геофизических полей в разломных зонах // Физика Земли 2010. № 4. С. 55–66.
- Сухоруков М.В., Спивак А.А.* Пространственно-временные особенности поля радона в связи с тектоническими структурами // Успехи современного естествознания. 2017. № 1. С. 94–99.
- Удоратин В.В., Езимова Ю.Е., Магомедова А.Ш.* Объемная активность радона в пределах разломных зон Кировско-Кажимского и Печоро-Колвинского авлакогенов // Литосфера. 2017. Т. 17. № 6. С. 136–152.
- Уткин В.И., Юрков А.К.* Радон как индикатор геодинамических процессов // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 2. С. 277–286.
- 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.
- Фирстов П.П., Макаров Е.О., Максимов А.П., Чернев И.И.* Отражение геодинамической обстановки северо-западного обрамления Тихого океана в динамике подпочвенного радона в газовом составе теплоносителя Мутновской ГеоЭС // Вулканология и сейсмология. 2015. № 5. С. 1–7.
- Яковлева В.С., Нагорский П.М., Яковлев Г.А.* Метод мониторинга плотности невозмущенного потока радона с поверхности грунта // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2016. Вып. 1(12). С. 85–93.
- Kulali F., Akkurt L., Özgür.* The effect of meteorological parameters on radon concentration in soil gas // Acta physica polonica. 2017. V. 132. № 3-II. P. 999–1001.
- Lopez J., Dena Ornelas O., Sago-Bohus L., Rodriguez G., Chavarria I.* Correlation between underground radon gas and dormant geological faults // Journal of Nuclear Physics. Material Sciences, Radiation and Applications. 2016. V. 4. № 1. P. 265–275.
- Neri M., Ferrera E., Giammanco S., Currenti G., Cirrincione R., Patane G., Zanon V.* Soil radon measurements as a potential tracer of tectonic and volcanic activity // Scientific reports. 2016. № 6. 24581. 12 p.

## Technique for Measuring Radon Volumetric Activity in Platform Regions

V. V. Udoratin<sup>a, \*</sup>, Yu. Ye. Yezimova<sup>a, \*\*</sup>, and A. Sh. Magomedova<sup>a, \*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktывkar, 167982 Russia

\*e-mail: udoratin@geo.komisc.ru

\*\*e-mail: yezimova89@mail.ru

\*\*\*e-mail: asmagomedova@geo.komisc.ru

The results of monitoring the radon volumetric activity (RVA) in soil air at eight testing sites located in the fault zones and beyond them are presented. The dependence of the changes in radon volumetric activity on the depth of the well, time of day, and meteorological parameters, main of which being temperature, is revealed. Based on the entire set of the collected data, the optimal conditions for conducting the profile radon surveys aimed at identifying the fault zones in platform conditions are determined.

*Keywords:* radon volumetric activity, emanation survey, soil air, platform region