

## СТАТЬИ

УДК 550.81

DOI 10.17513/use.38372

**ВЛИЯНИЕ ФОРМ РЕЛЬЕФА НА ЭСХАЛЯЦИЮ РАДОНА****Апкин Р.Н.***ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
Казань, e-mail: renat.apkin@gmail.com*

Геоморфологическое строение на любом участке поверхности Земли теснейшим образом связано с геологической структурой территории и оказывает решающее влияние на эсхалицию радона. В статье рассматриваются особенности эсхалиции радона на экспериментально выбранной территории естественного развития экзогенных процессов как важного показателя, служащего для контроля дегазации в платформенных областях. Целью работы явилось установление влияния геоморфологического строения выбранной территории на эсхалицию радона. Для проверки этого утверждения первоначально были проведены полевые исследования на участке около Казани, на котором, помимо овражной эрозии, повторялись бы суффозионно-карстовые понижения. В период полевых работ (сентябрь-октябрь 2024 г.) с помощью радиометра RTM-1866 Geo Station проведены замеры объемной активности радона на контрольных точках в приповерхностном почвенном воздухе, также учитывались почвенный состав и особенности растительного покрова данной территории. Результаты полевых исследований в процессе камеральной обработки были представлены на картографическом материале и в соответствующих таблицах. Они доказывают, что концентрация подпочвенного радона в суффозионно-карстовых просадках принимает более высокие значения, чем в формах эрозионного процесса и на плакоре. Данные, полученные в ходе исследований, служат информацией для крупномасштабного картирования и установления природных закономерностей выхода радона из геологической среды, а также выявления зон повышенного радонового риска для населения.

**Ключевые слова:** радон, эсхалиция, суффозионно-карстовые процессы, контроль, безопасность

**INFLUENCE OF RELIEF FORMS ON RADON EXHALATION****Apkin R.N.***Kazan State Power Engineering University, Kazan, e-mail: renat.apkin@gmail.com*

The geomorphological configuration of any part of the Earth's surface is closely related to the geological structure of the territory and has a decisive influence on radon exhalation. The article considers the features of radon exhalation in an experimentally selected area of natural development of exogenous processes – as an important indicator serving to control degassing in platform areas. The aim of the work was to establish the influence of the geomorphological structure of the selected territory on radon exhalation. To test this statement, field studies were initially carried out in an area near Kazan, where, in addition to ravine erosion, suffusion-karst depressions would be repeated. During the field work (September-October 2024), using the RTM-1866 Geo Station radiometer, measurements of radon volume activity were taken at control points in the near-surface soil air; the soil composition and features of the vegetation cover of this territory were also taken into account. The results of field studies during processing were presented on cartographic material and in the corresponding tables, which prove that the concentration of subsoil radon in suffusion-karst subsidences takes on higher values than in the forms of the erosion process and on the plakor. The data obtained during the studies serve as information for large-scale mapping and establishing natural patterns of radon release from the geological environment, as well as identifying areas of increased radon risk for the population.

**Keywords:** radon, exhalation, suffusion-karst processes, control, safety

**Введение**

В настоящее время внимание многих ученых, занимающихся естественными науками, сосредоточено на установлении природных условий (с учетом обстоятельств антропогенного вмешательства) выделения радона из геологической среды, а также на разработке методологии крупномасштабного картирования зон повышенной эсхалиции радона [1]. Эта деятельность также направлена на выявление зон повышенного радонового риска для населения с целью проведения мер по снижению доз облучения радоном в помещениях [2], что необходимо, поскольку масштабные исследования последних двух

десятилетий позволили достоверно установить линейный рост заболеваемости раком легкого с увеличением концентрации радона и продуктов его распада в жилых и общественных помещениях [3].

Установление влияния форм рельефа на эсхалицию радона на примере экспериментально определенной территории в окрестностях г. Казани явилось целью настоящей статьи.

Для достижения этой цели предполагалось решение ряда задач:

– мониторинг концентрации радона в подпочвенном воздухе в районе развития суффозионно-карстовых процессов;

– углубление существующих знаний о взаимосвязи развития экзогенных процессов и концентрации подпочвенного радона;  
 – картирование результатов полевых измерений объемной активности радона в почвенном воздухе.

Изучение факторов, воздействующих на уровень фонового значения радона, имеет, таким образом, как теоретическую, так и практическую значимость.

Рассеивание радона-222 от глубины к поверхности почв связано с его физико-химическими свойствами. Образовавшись в материнских породах, этот инертный газ поднимается вверх через слои почвы, не вступая в химические взаимодействия с ее компонентами. Приближаясь к поверхности, газ частично растворяется в молекулах воды, присутствующих в почве, и частично адсорбируется частицами почвы различного гранулометрического состава. Достигая поверхности, радон-222 диффузно перемещается с атмосферным воздухом, но в силу своего большого атомного веса (в 7–8 раз тяжелее воздуха) он не поднимается в верхние слои атмосферы [4].

Данное исследование направлено на изучение факторов, управляющих динамикой

радона и уровнем его фонового значения. Среди главных факторов, влияющих на уровень фонового значения радона в почвенном воздухе, выделяются особенности геолого-геоморфологического строения территорий. Прежде всего, на проницаемость верхней части осадочного чехла оказывают влияние трещиноватость и процессы, которые способствуют ее образованию [5].

На территории Республики Татарстан суффозионно-карстовые процессы получили широкое распространение. В окрестностях г. Казани наблюдается развитие карста и провальных явлений, связанных с гипсоносными толщами сакмарского яруса перми. Неотектоническая и бэровская миграция глубоких врезов палеорусел Волги, Казанки, Камы и их притоков вскрывает в широких пределах верхние слои палеозоя в окрестностях Казани – до глубины 200–300 м, облегчая тем самым вертикальную миграцию радона из более глубоких горизонтов земной коры [6]. Влияние геолого-геоморфологических компонентов на «поведение» и выход радона на поверхность убедительно демонстрируется итоговыми данными проведенного автором исследования.

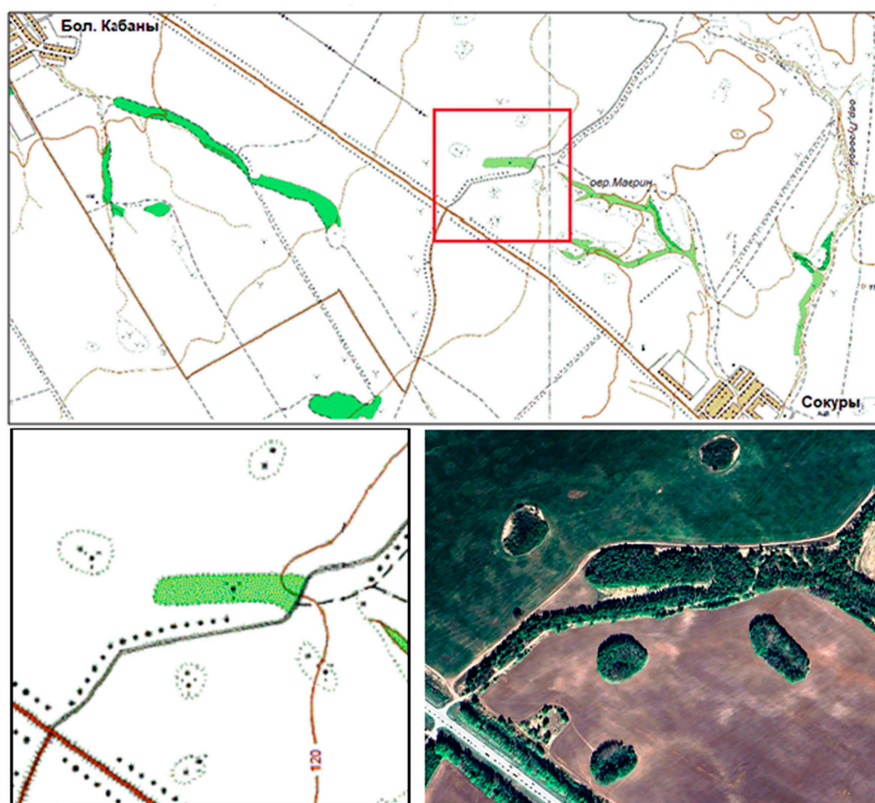


Рис. 1. Участок исследования на топографических картах различного масштаба [7] и на фрагменте снимка из геоинформационной системы Google Earth Pro

**Цель исследования** – определение воздействия особенностей геоморфологии на экспериментальной территории в окрестностях г. Казани на эскаляцию радона.

**Материалы и методы исследования**

Участок исследования находится к юго-востоку от Казани на расстоянии 14 км (по Оренбургскому тракту), между поселками Бол. Кабаны и Сокуры (рис. 1).

Его площадь составляет около 45 га. Ландшафт данной местности представляет собой слабоволнистую водораздельную равнину (плакор) с высотными отметками в интервале 100–120 м и является самой вы-

сокой частью рельефа между Волгой (Куйбышевским водохранилищем) и нижним течением реки Мёша.

В геолого-геоморфологическом отношении местность является озерно-аллювиальной равниной, отложения которой сформировались в неоген-четвертичное время в период существования Палео-Волги [8]. Четвертичные образования (IaE1) здесь представлены песками, суглинками и глинами, мощностью до 41 м (рис. 2). Под четвертичными отложениями лежат породы неогеновой системы мощностью до 38 м, которые, кроме песков и глин, включают прослой известняков [9].

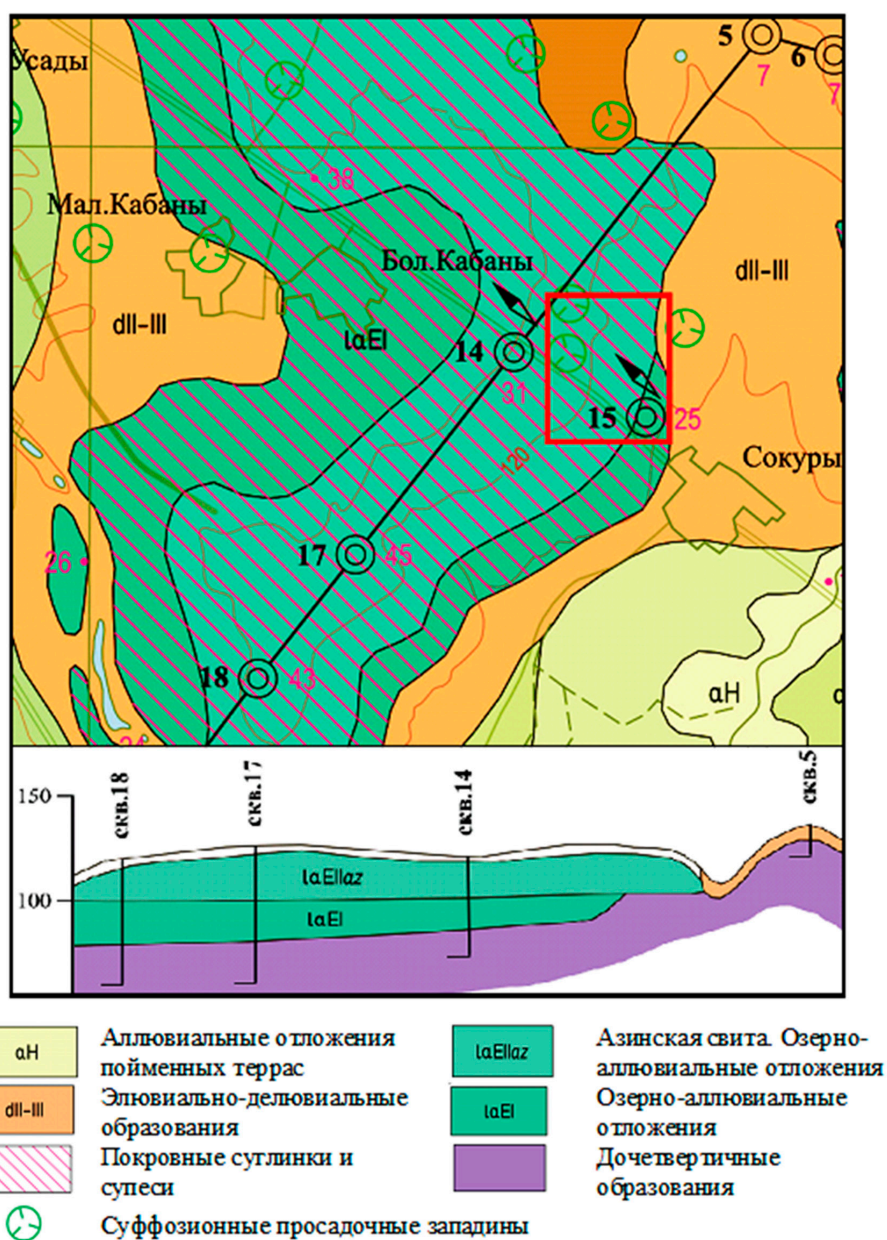


Рис. 2. Фрагмент карты и профиль четвертичных образований [9]





Рис. 3. Контрольные точки на территории исследования

Покровные суглинки и супеси в процессе почвообразования оказали влияние на физико-механические свойства почвенного покрова и грунтов исследуемой территории, от которых, в свою очередь, зависят интенсивность выхода радона и его величина.

При проведении полевых работ был использован радиометр RTM 1688-2 GeoStation производства немецкой фирмы SARAD, GmbH. Прибор имеет специальное устройство – зонд, который позволяет измерить величину радона в почвенном воздухе на заданной глубине [10]. Измерения проведены на контрольных точках, выбранных на различных элементах рельефа (суффозионная просадка, балка, овраг) (рис. 3). В результате получены значения объемной активности радона в почвенном воздухе на глубине 0,5 м в каждой точке.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Обобщенные данные полевых исследований приведены в таблице 1.

По метеорологическим данным видно, что за время наблюдений на контрольных точках в почве на глубине 0,5 м значения температур почвенного воздуха были в интервале 9–17°C, относительной влажности – 84–94%, атмосферное давление менялось в интервале 744–767 мм рт. ст. Существенной зависимости объемной активности радона от метеорологических факторов в данном случае не наблюдается.

При анализе данных с помощью программы Excel была выявлена зависимость полученных значений радона от положения в рельефе. По распределению полученных данных объемной активности радона от больших значений к меньшим видно, что высокие показатели относятся к контрольным точкам, расположенным в суффозионных просадках, что наглядно представлено в таблице 2. Просадки имеют овальные формы, их размеры варьируются в интервале 100–200 м, глубины в самых нижних точках равны около 1,5–2 м от поверхности плакора.

**Таблица 1**

Данные полевых исследований по контрольным точкам

№ точки	Объемная активность радона, Бк/м <sup>3</sup>	Температура грунта, °С	Влажность грунта, %	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Положение в рельефе	Примечания
1	23 188	15	88	756	суффозионная просадка	кусты, древесной
2	17 311	17	92	755	плакор	поле
3	17 988	14	87	764	суффозионная просадка	кусты, древесной
4	12 520	17	89	754	плакор	поле
5	14 532	15	87	760	плакор	поле
6	7 475	12	92	759	балка	кусты, древесной
7	15 910	13	87	758	плакор	поле
8	17 714	13	89	759	суффозионная просадка	кусты, древесной
9	13 137	13	88	757	плакор	поле
10	21 592	12	92	755	суффозионная просадка	кусты, древесной
11	16 024	11	88	747	балка	кусты
12	13 489	12	94	746	плакор	поле
13	3 375	11	90	746	плакор	лесопосадка
14	16 997	10	87	764	плакор	лесопосадка
15	10 878	9	87	767	овраг	кусты
16	25 720	10	89	758	суффозионная просадка	кусты, древесной
17	21 303	9	84	763	суффозионная просадка	кусты, древесной
18	11 493	15	85	744	плакор	лесопосадка

**Таблица 2**

Зависимость эсхалиции радона от положения в рельефе

№ контрольной точки	Объемная активность радона, Бк/м <sup>3</sup>	Положение в рельефе
16	25 720	суффозионная просадка
1	23 188	суффозионная просадка
10	21 592	суффозионная просадка
17	21 303	суффозионная просадка
3	17 988	суффозионная просадка
8	17 714	суффозионная просадка
2	17 311	плакор
14	16 997	плакор
11	16 024	балка
7	15 910	плакор
5	14 532	плакор
12	13 489	плакор
9	13 137	плакор
4	12 520	плакор
18	11 493	плакор
15	10 878	овраг
6	7 475	балка
13	3 375	плакор

Кроме суффозионных просядков, на участке исследования обнаружены эрозийные формы рельефа: балка и вторичный овраг. В комплексе они образуют единую отрицательную форму рельефа и на картах обозначены как начало Мавриного оврага. Балка по возрасту древнее, она покрыта древостоем и кустарниковой растительностью. Глубина ее в верхней части равна 1,5–2 м, а у начала (или вершины) оврага доходит до 4 м. Врез оврага в днище балки достаточно глубокий, равен примерно 2,5 м, а от поверхности плакора его глубина составляет больше 6 м.

По данным автора, несмотря на большие глубины, в днище этих форм рельефа уровень эсхалиции радона значительно ниже по сравнению со значениями в суффозионных просядках. Объемная активность радона в контрольных точках балки равна примерно 7,5 тыс. и 16 тыс. Бк/м<sup>3</sup>, а в точке, расположенной в тальвеге оврага, – около 11 тыс. Бк/м<sup>3</sup>; среднее значение радона в суффозионных просядках, несмотря на малые глубины, равно более 21 тыс. Бк/м<sup>3</sup>. Среднее значение объемной активности радона в почвенном воздухе на исследованном участке равно 15,6 тыс. Бк/м<sup>3</sup>, при этом на плакоре среднее значение составило около 13 тыс. Бк/м<sup>3</sup>.

Образованию суффозионных просядков способствуют нарушения глубоко залегающих пластов; это приводит к нарушению плотности грунта на поверхности рельефа и является, по мнению автора, причиной повышенной эсхалиции на рассмотренной территории.

### Заклучение

При мониторинге радона на выбранном участке для объективной оценки эсхалиции газа измерения проведены примерно при одинаковых метеорологических условиях и в один климатический сезон.

При определении мест контрольных точек, с целью оценки роли геоморфологического строения территории, учитывались особенности и детали строения рельефа и почвенного состава.

Результаты исследования автора вновь продемонстрировали, что для обеспечения радоновой безопасности населения при выборе участков под жилищное строительство и (или) другое использование важно знать не только геологическое строение территории, но также характер и особенности форм рельефа, образовавшихся в результате экзо-

генных и эндогенных процессов, протекающих на этой территории.

В работе специальный акцент был сделан на геологических аспектах картирования радонового риска. Полученное в работе геоизображение может быть использовано при разработке методологии крупномасштабного картирования зон повышенной эсхалиции радона на платформенных областях Восточно-Европейской равнины.

### Список литературы

1. Микляев П.С., Петрова Т.Б., Маренный А.М., Нефедов Н.А., Остапчук Т.В., Щитов Д.В., Сидякин П.А., Мурзабеков М.А. Уровни эсхалиции радона на западном склоне горы Бештау, Кавказские Минеральные Воды // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология*. 2018. № 5. С. 20–30. URL: <https://sciencejournals.ru/list-issues/geokol> (дата обращения: 25.10.2024). DOI: 10.1134/S0869780318040063.
2. Tollefsen T., Cinelli G., De Kort M. Special issue of the journal “Environmental Radioactivity”: Geogenic radiation and its potential use for developing a geogenic radon map – Preface // *J. Environ. Radioact.* 2017. № 172. P. 143–144. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC103953> (дата обращения: 25.10.2024). DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.11.008.
3. Ярмошенко И.В., Малиновский Г.П., Васильев А.В. Обобщение онкоэпидемиологических исследований связи рака легкого с радоном // *Медицина труда и промышленная экология*. 2019. № 59 (2). С. 92–96. URL: <https://www.journal-iriioh.ru/jour/article/view/1299/1278> (дата обращения: 25.10.2024). DOI: 10.31089/1026-9428-2019-2-92-96.
4. Алимova Г.С., Токарева А.Ю., Уткина И.А., Самкова М.В. Распределение радона-222 в почвах поймы и надпойменных террас рек Иртыша и Тобола // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022. Т. 333, № 12. С. 168–177. URL: <https://izvestiya.tpu.ru/archive/issue/view/140> (дата обращения: 10.11.2024). DOI: 10.18799/24131830/2022/12.
5. Микляев П.С. Научные основы оценки потенциальной радоноопасности платформенных территорий: дис. ... докт. г-м. наук. Москва, 2015. 307 с. URL: <https://www.dissertat.com/content/nauchnye-osnovy-otsenki-potentsialnoiradonopasnosti-platfornennykh-territorii> (дата обращения: 15.11.2024).
6. Ашкин Р.Н., Сонин Г.В. Влияние геолого-геоморфологических факторов на эсхалицию радона в грунтах на территории Казани и ее окрестностей // *Успехи современного естествознания*. 2023. № 12. С. 178–184. DOI: 10.17513/use.38189.
7. RETROMAP. Карта России 1:25K 2001 года [Электронный ресурс]. URL: [https://retromap.ru/1420013\\_z15\\_55.633216,49.3717](https://retromap.ru/1420013_z15_55.633216,49.3717) (дата обращения: 25.10.2024).
8. Петрова Е.В. Перестройка речной сети и направленность смещения водоразделов в пределах территории Республики Татарстан в четвертичное время // *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле*. 2019. Т. 29, № 2. С. 252–257. URL: <https://journals.udsu.ru/biology/article/view/4441> (дата обращения: 25.11.2024). DOI: 10.35634/2412-9518-2019-29-2-252-257.
9. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Издание второе. Карта четвертичных образований. Средневолжская серия / Геологическая Библиотека [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geokniga.org/labels/22324> (дата обращения: 20.10.2024).
10. SARAD GmbH. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sarad.de/index.php> (дата обращения: 15.11.2024).