

На правах рукописи

Лешуков Тимофей Владимирович

РАДОНОВАЯ ОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ ПОДЗЕМНЫМ  
СПОСОБОМ (НА ПРИМЕРЕ КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА)

Специальность 25.00.36 –Геоэкология (науки о Земле)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Кемерово - 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кемеровский государственный университет»

Научный руководитель: **Лесин Юрий Васильевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева

Официальные оппоненты: **Микляев Петр Сергеевич**, доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник ФГБУН Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева (г. Москва)  
**Корчагина Татьяна Викторовна**, кандидат технических наук, директор ООО Сибирский институт горного дела (СИГД) (г. Кемерово)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН (г. Екатеринбург)

Защита состоится 18 июня 2021 г. в 14.00 на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.228.03 при ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр РАН», ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет» по адресу: 362027, г. Владикавказ, ул. Маркуса, д. 22.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим высылать по адресу: 346051, Чеченская Республика, г. Грозный, пр. Х. Исаева, д. 100, на имя ученого секретаря диссертационного совета Д 999.228.03 З.Ш. Гагаевой.

E-mail: geodissovet@mail.ru; тел./факс 8(8712)223607

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке «ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова» и на сайтах: [https://gstou.ru/science/dissertation\\_council/](https://gstou.ru/science/dissertation_council/), [vak.minobrnauki.gov.ru](http://vak.minobrnauki.gov.ru)

Автореферат разослан «\_\_»\_\_\_\_\_2021 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 999.228.03  
кандидат географических наук



З.Ш. Гагаева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность темы исследования и степень разработанности проблемы.* Радон в медицинской геологии и географии рассматривается как один из важнейших факторов геологической среды, определяющий рост канцерогенного риска (Ajrouche и др., 2017; Bersimbaev, Bulgakova, 2015; Darby и др., 2005; Gawętek, Drozdowska, Fuchs, 2017; Lubin, Voise, 1997), в том числе в бытовых условиях (Eidemüller и др., 2012; Lubin, Voise, 1997; Wilkening, 1990; WHO handbook on indoor radon: a public health perspective, 2009).

Естественным источникам радоновой опасности посвящены работы отечественных (Rikhvanov и др., 2016; Маренный и др., 2015; Seminsky, Bobrov, 2009; Злобина и др., 2019; Мананков, Сафонова, 2015; Семинский, 2018; Стась, Арди, 2015) и зарубежных исследователей (Kropat и др., 2014; Sarra и др., 2016; Scheib и др., 2013; Tchorz-Trzeciakiewicz, Kłos, 2017; Watson и др., 2017), при этом изучены механизмы изменения концентрации радона в грунтах, пространственное распределение и связь с тектоническим строением. Антропогенные источники радоновой опасности территории в основном связывают с районами отработки высокорadioактивных руд, где обнаружены изменения радиоактивного фона всех компонентов окружающей среды (Титов и др., 2017; Уйба и др., 2009; Шандала и др., 2014; Lawrence и др., 2009). При разработке слаборadioактивных руд, в том числе и угля, существенного изменения радиологических показателей на поверхности, как правило, не фиксируется.

При подземном способе происходит формирование новейших зон трещиноватости пород, которым сопутствуют современные геодинамические процессы. Также к обрабатываемым пространствам на поверхности часто приурочены обильные выходы различных газов, в том числе метана, водорода, радона, угарного, углекислого и др. (Palchik, 2005; Wei и др., 2011; Zhang и др., 2013; Zhang и др., 2014). На таких территориях радон обычно рассматривается в качестве опасного компонента для работников шахтной выработки (Качурин, Поздеев, Стась, 2012; Качурин, Поздеев, Стась, 2013; Коршунов, Мироненкова, Кабанов, 2015). Также он применяется в качестве индикатора подземного горения пластов угля либо выявления зон обрушения кровли отработанного пространства (Lu, Cao, Tien, 2017; Xue, Dickson, Wu, 2008; Xue, Winkelmann, 2005), но значительно реже учитывается его влияние на жилые строения на поверхности.

В регионах давно действующих угледобывающих предприятий жилые дома часто располагаются в окрестностях выработок, что может увеличивать воздействие радона на человека. На таковых территориях Великобритании, Германии, Польши и Украины были зафиксированы высокие концентрации радона в почвенном воздухе во всех исследованиях, при этом для жилых строений получены не одинаковые закономерности (Ball, Wysocka, 2011; Klingel, Kemski, 1999; Wysocka, 2016). В одних случаях превышение зафиксировано только в подвальных помещениях строений, а в других – и для жилых частей зданий.

В настоящее время отсутствуют работы по выявлению радоновой опасности грунтов в местах интенсивной добычи угля подземным способом в Кузнецком угольном бассейне, что определяет необходимость проведения данного исследования. В Кузбассе большое количество поселений располагается на или в непосредственной близости к территориям добычи угля, что может приводить к повышенному канцерогенному риску, связанному с радоном. Выяснение соотношения высокой плотности потока радона и подземных выработок необходимо для определения областей, где в зданиях должны быть приняты профилактические меры против радона. Особенно это актуально для старопромышленных регионов с исторически сформированными особенностями расположения районов частной жилой застройки. Ленинск-Кузнецкий район Кемеровской области является одним из старейших и глубоко специализированных территорий добычи угля со значительными площадями шахтных полей, что делает его приемлемым для изучения данных зависимостей с целью их последующей экстраполяции на схожие поселения (Лешуков и др., 2020).

**Целью** работы является выявление радоновой опасности территорий добычи угля подземным способом в Кузнецком угольном бассейне.

**Объект исследования** – радоновая опасность территорий Кузнецкого угольного бассейна;

**Предмет исследования** – связь радоновой опасности территорий с добычей угля подземным способом.

Достижение поставленной цели предусматривает решение следующих **задач**:

1. Выявить потенциальные естественные и техногенные объекты радоновой опасности;
2. Определить долю территории и жилых строений, расположенных в пределах разных геологических условий эманацій радона на поверхность;
3. Установить влияние подработанных пространств на радоновую опасность грунтов;
4. Выявить изменение объемной активности радона жилых помещений, расположенных в пределах шахтных полей.

**Материалы и методы исследования.** В диссертационной работе применялись картографический, геоинформационный, сравнительно-географический, статистический методы исследования. Измерение плотности потока радона (ППР) и объемной активности радона (ОАР) осуществлялись автором совместно с сотрудниками Института биологии, экологии и природных ресурсов (ИБЭиПР КемГУ). Измерения ОАР и ППР были произведены с помощью поверенного прибора Камера-01. Статистическая обработка данных осуществлялась с применением программ Microsoft Excel, Statistica. Картографические работы осуществлялись в ArcGIS 10.3.1.

**Степень достоверности** обеспечена достаточно большим массивом измерений ППР и ОАР. Измерения производились с помощью поверенного прибора Камера-01. В работе проводился внутренний и внешний контроль путем повторного измерения показателей в 10 % точек наблюдения

(дублирующие измерения), погрешность определения показателей не выходила за погрешность измерения прибора – не более 30 %.

#### **Основные научные положения, выносимые на защиту:**

1. Основной причиной потенциальной радоновой опасности в Кузбассе является активизация разрывных нарушений горных пород в связи с добычей угля подземным способом и появление зон повышенной проницаемости для эманаций, в том числе для радона;

2. Грунты, находящиеся в пределах шахтных полей, характеризуются более высокими показателями плотности потока радона (среднее -  $181,59 \pm 13,32$  мБк/м<sup>2</sup>\*с, максимальное -  $3310$  мБк/м<sup>2</sup>\*с), чем за их пределами (среднее -  $33,07 \pm 1,78$  мБк/м<sup>2</sup>\*с, максимальное -  $260$  мБк/м<sup>2</sup>\*с);

3. Влияние подземных выработок на радоноопасность жилых строений выражается в более высоком среднем показателе ( $168,57 \pm 20,66$  Бк/м<sup>3</sup>) и росте пиковых значений эквивалентно равновесной объемной активности радона в пределах шахтного поля ( $1715$  Бк/м<sup>3</sup>) по сравнению с остальной территорией (среднее -  $120,97 \pm 14,79$  Бк/м<sup>3</sup>, максимальное -  $304,25$  Бк/м<sup>3</sup>).

#### **Научная новизна** заключается в следующем:

- впервые для территории старопромышленного угледобывающего района в пределах Кузнецкого угольного бассейна выделены потенциальные источники радоновой опасности и обозначена существенная роль в них антропогенных на участках добычи угля подземным способом;

- обнаружено влияние подземного способа добычи угля на радоновую опасность грунтов Кузнецкого угольного бассейна, которое выражается в росте плотности потока радона;

- установлен рост концентрации радона в жилых строениях в пределах шахтных полей для территории Кузнецкого угольного бассейна и доказана его геогенность.

**Теоретическая и практическая значимость.** Материалы диссертационной работы могут быть использованы при разработке областных и муниципальных программ по охране окружающей среды, градостроительному планированию территорий индивидуальной жилищной застройки в Кемеровской области, особенно в районах развития или планирования угледобычи подземным способом; при изучении в высших учебных заведениях дисциплин, связанных с влиянием внешней среды на человека, а также с описанием качества окружающей среды в Кемеровской области, экологической демографии, безопасности жизнедеятельности, медицинской географии и медицинской геологии.

Теоретические и практические рекомендации используются Институтом биологии, экологии и природных ресурсов КемГУ при чтении курсов «Экология Кемеровской области», «Геоэкология», «Экологическая геология».

**Апробация работы.** Результаты докладывались и обсуждались на международных и региональных конференциях: Конференция молодых ученых, аспирантов и студентов "Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения", г. Юрга (2018 г.); IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле, г. Новосибирск (2018 г.); II-я

Всероссийская научная конференция "Фундаментальные и прикладные аспекты устойчивого развития ресурсных регионов", г. Новокузнецк (2019 г.); Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения», г. Юрга (2019 г.); III Симпозиум «Междисциплинарные подходы в биологии, медицине и науках о Земле: теоретические и прикладные аспекты», г. Кемерово (2020 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 2 статьи в журналах, индексируемых в Web of Science.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Основное содержание работы изложено на 105 страницах. Включает 19 таблиц и 25 рисунков. Список литературы состоит из 158 наименований, из них 85 на иностранном языке.

**Личный вклад автора** заключается в непосредственном участии в сборе, анализе, статистической обработке и обобщении результатов исследований по взаимосвязи подработанных пространств и радоновой опасности территорий, а также построении картографических материалов в среде ArcGIS.

**Выражаем благодарности** научному руководителю, профессору, д.т.н. Лесину Ю.В.; сотрудникам ИБЭиПР КемГУ доценту, к.б.н. Ларионову А. В., старшему преподавателю Легощину К. В.

Исследование выполнялось в рамках научного проекта РФФИ № 18-35-00390, в котором автор выступал в качестве руководителя.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснованы актуальность работы, цель и задачи исследования, представлена научная новизна и практическая значимость работы, определены объект и предмет исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, и обозначен личный вклад автора.

**Глава 1** содержит обзор литературных источников по разработанности проблемы радоновой опасности территорий, геолого-тектоническую характеристику района исследований и выявление потенциальных естественных и антропогенных факторов радоноопасности геологической среды.

**В главе 2** приведена оценка распространенности потенциальных естественных и антропогенных источников радоноопасности геологической среды и рассчитано территориальное распределение жилых строений в их пределах для территории исследования посредством ГИС.

**Глава 3** содержит статистический, пространственный анализ различий ППР из грунта шахтных полей и за их пределами, а также обоснование связи добычи угля подземным способом и радоновой опасностью территории.

**В главе 4** представлен анализ показателей эквивалентно равновесной объемной активности радона (ЭРОА) жилых строений, расположенных на территории шахтных полей и за их пределами. Доказывается их связь с ППР из

грунта и выявляется значимость горнодобывающих работ для радоновой опасности жилых строений.

**Заключение** содержит основные выводы по работе и рекомендации.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

**1. Основной причиной потенциальной радоновой опасности в Кузбассе является активизация разрывных нарушений горных пород в связи с добычей угля подземным способом и появление зон повышенной проницаемости для эманаций, в том числе для радона.**

Дизъюнктивы могут служить транспортными каналами для радона, образованного в местах залегания высокорadioактивных и даже малорadioактивных пород. В отдельных случаях современные тектонические нарушения способны создавать большую радоновую опасность, чем грунты, имеющие повышенные концентрации радиоактивных элементов (Астахов, Бартанова, Тубанов, 2015; Подымов, Подымова, 2016). Но значительно чаще дизъюнктивы являются основными источниками радоновой опасности на территориях с низкими кларковыми содержаниями радиоактивных элементов в грунтах.

Увеличение эманации радона связано с увеличением площади пород, с которых происходит эксхалация газа за счет самого нарушения. В профиле нарушение обычно выражено некоторой областью с высоким значением ОАР почвенного воздуха, что объясняется сложным строением данного участка земной коры, характеризуемое наличием сопутствующей зоны повышенной трещиноватости пород. Пиковые значения обычно интерпретируются как зона повышенной проницаемости нарушения, а зона минимумов как цельный массив (Seminsky, Bobrov, 2009; Seminsky, Bobrov, Demberel, 2014). Кроме того, нарушения зоны растяжения (сбросы) связаны с более высокими значениями выхода радона, чем зоны сжатия (взбросы, надвиги), сдвиги при этом имеют промежуточное значение (Utkin, Yurkov, 2010). Очевидно, что данные закономерности участвуют в формировании радоновой опасности зон современной неоген-четвертичной мобилизации (Steinitz и др., 1992). Одновременно с этим нарушения в фундаменте платформ и участков древней складчатости имеют меньший потенциал для формирования транспортных путей радона. Несомненно, при учете радоновой опасности дизъюнктивов необходимо учитывать состав пород, по которым оно сформировано, но, как правило, этот фактор не является ключевым, а наиболее существенным является возраст нарушения и его глубинность.

Добыча угля подземным способом приводит к изменению геодинамической функции литосферы, в результате чего происходит мобилизация тектонических блоков, сопровождающаяся образованием значительных провалов и просадок на дневной поверхности. Данные процессы являются характерными для угледобывающих территорий мира и Кузнецкого угольного бассейна в том числе. Изменение геодинамической функции

приводит к формированию дополнительной трещиноватости пород и активизации естественных нарушений, что сопровождается выходом газов из шахтных выработок, вмещающих пород и кровли месторождений по этим транспортным каналам. В этом случае на поверхности происходит изменение геохимической функции литосферы, которая характеризуется высокими потоками радона, метана, углекислого и угарного газа, гелия и др.

Оценка распространенности тех или иных источников радоноопасности помогает оценить их пространственный потенциал влияния на человека. Зоны разрывных нарушений горных пород являются вторичным источником потенциальной радоновой опасности грунтов на территории административных образований, где ведется добыча угля подземным способом, главными становятся области проседания грунта над выработкой (табл. 1). На долю шахтных полей приходится 47,72 % от всей территории района исследований.

При этом для выявления существующего уровня опасности жилого фонда необходимо выяснить его распределение в границах действия данных источников, что было реализовано в работе (табл. 1).

Таблица 1. Распространенность потенциальных естественных и антропогенных источников радоноопасности геологической среды и доля жилых строений (ЖС) в их пределах (Лешуков и др., 2020)

Потенциальный источник радоноопасности	Всего		Шахтное поле	
	Доля территории, %	Доля ЖС, %	Доля территории, %	Доля ЖС, %
Состав пород (свиты)				
P <sub>2</sub> km	29,98	<b>64,47</b>	11,34	<b>35,58</b>
P <sub>2</sub> us	<b>63,63</b>	35,56	<b>36,07</b>	12,47
P <sub>2</sub> ln	5,83	0,58	0,31	0,01
J <sub>1</sub> os	0,61	0,00	0	0
Тектоника (крупные тектонические нарушения)				
Виноградовский взбросо-надвиг	2,67	2,82	0	0
Журинский взбросо-надвиг	3,38	<b>8,71</b>	0,21	0,42
Кильчигизский взбросо-надвиг	0,05	0,00	0,05	0
Нарушения меньшей амплитуды	1,50	1,88	<b>0,81</b>	<b>1,28</b>
Все нарушения	7,58	13,33	1,06	1,69
Тектоника и состав пород				
P <sub>2</sub> km	3,65	<b>9,10</b>	0,42	<b>1,56</b>
P <sub>2</sub> us	<b>3,91</b>	4,59	0,64	0,13

\*- P<sub>2</sub>km - казанково-маркинская свита; P<sub>2</sub>us - ускатская свита; P<sub>2</sub>ln - ленинская свита; J<sub>1</sub>os - осиновская свита.

Распределение ЖС не соответствует распространенности на территории источников естественной потенциальной радоноопасности. В границах

естественных нарушений располагается 13,33 % жилых строений, главным образом в зоне Журинского взбросо-надвига.

Распределение ЖС с учетом антропогенных потенциальных источников радоноопасности геологической среды так же, как и в случае с естественными, не соответствует их площадной распространенности. Доля строений, расположенных в пределах шахтных полей, составляет 48,06 %.

Шахтные поля как основная территория антропогенного источника потенциальной радоноопасности геологической среды являются первостепенными для изучения с учетом распространенности ЖС в их пределах (см. рис. 1.2.). Частные дома располагаются преимущественно на территориях шахтных полей, либо нарушений, которые часто являются их границами.

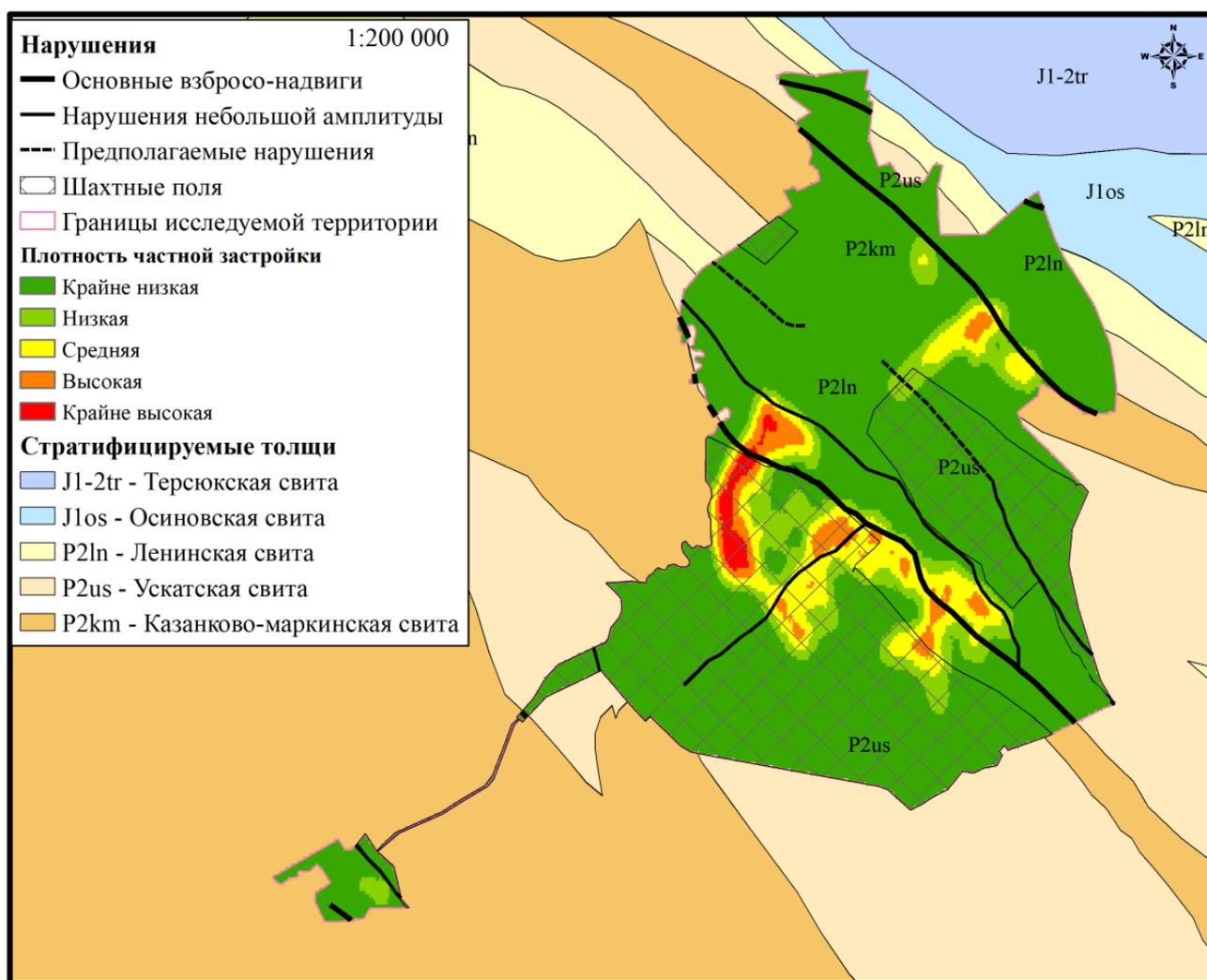


Рис. 1. Расположение основных потенциальных источников радоноопасности и плотность ЖС

Выяснение доли ЖС, расположенных в той или иной части геологической среды с определенным набором источников, связанных с потенциальной радоновой опасностью, может предоставить более точные данные для сравнения с эпидемиологической статистикой административных территорий по новообразованиям дыхательной системы. В целом, данный подход позволит более достоверно выяснить вклад данного компонента геологической среды в

общий канцерогенный риск населения угледобывающих районов Кузбасса (Лешуков и др., 2020).

**2. Грунты, находящиеся в пределах шахтных полей, характеризуются более высокими показателями плотности потока радона (среднее -  $181,59 \pm 13,32$  мБк/м<sup>2</sup>\*с, максимальное - 3310 мБк/м<sup>2</sup>\*с), чем за их пределами (среднее -  $33,07 \pm 1,78$  мБк/м<sup>2</sup>\*с, максимальное - 260 мБк/м<sup>2</sup>\*с).**

На рис. 2. представлены места измерения ППР из грунта.

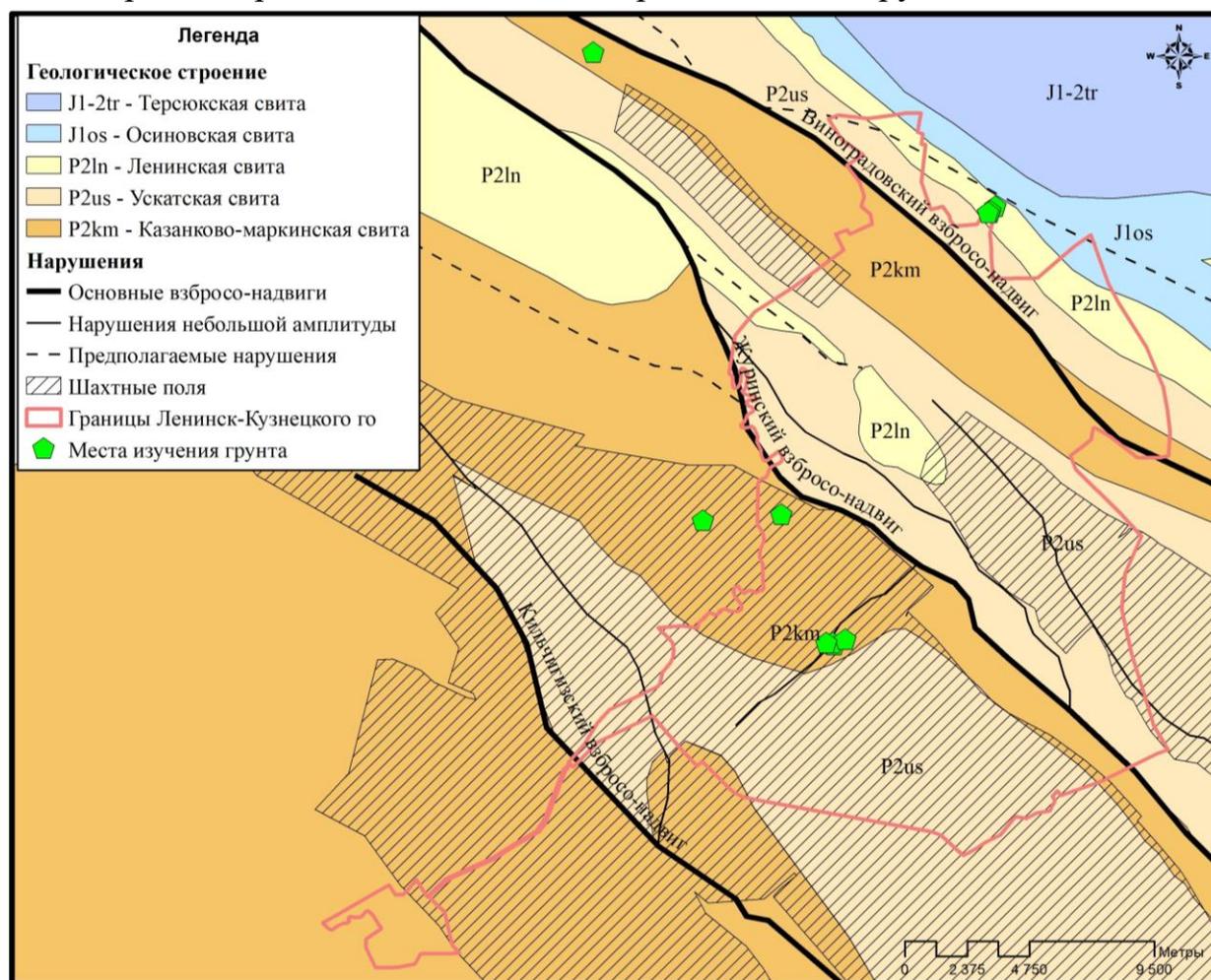


Рис. 2. Схема расположения места изучения ППР

Оценка производилась путем выделения группы случая (Case) и контроля (Control). В группе случая находятся территории измерения ППР в пределах шахтных полей, в группе контроля – все остальные.

Статистические показатели ППР группы Case значительно превышают таковые на контрольной территории (табл. 2). Мода имеет сравнимый показатель относительно всех фоновых значений. Вариации показателя в пределах шахтных полей значительно выше фоновых. Полученные средний, максимальный и медианный показатели не характерны для территорий исследования, сложенных слаборадиоактивными породами и не содержащих ураноносные проявления полезных ископаемых.

Для оценки значимости различий применялся непараметрический метод – U критерий Манна-Уитни, который показал достоверные отличия на уровне  $p \leq 0,0001$ .

Таблица 2. Сравнение ППР на территории шахтных полей и без них

Статистические параметры	$P_{2km+ШП}^*$	$P_{2km}$	$P_{2ln}$	$P_{2km+ P_{2ln}}$
Среднее значение, мБк/м <sup>2</sup> *с	181,59±13,32	22,87±1,01	46,61±3,62	33,07±1,78
Медиана, мБк/м <sup>2</sup> *с	119	20	27	22
Max, мБк/м <sup>2</sup> *с	3310	128	260	260
Min, мБк/м <sup>2</sup> *с	8	10	9	9
Коэф.вариации, %	142	59	90	95
Кол-во измерений ППР	375	178	134	312

\*-шахтные поля

Частота встречаемости точек наблюдения с высокими (>80 мБк/м<sup>2</sup>\*с) и очень высокими (>200 мБк/м<sup>2</sup>\*с) показателями ППР значительно выше на грунтах с шахтными полями (табл. 3).

Таблица 3. Распределение ППР на территории шахтных полей и за их пределами

Интервалы ППР, мБк/м <sup>2</sup> *с	$P_{2km+ШП}$	$P_{2km}$	$P_{2ln}$	$P_{2km+ P_{2ln}}$
0-80	133 (35,47 %)	177 (99,44 %)	108 (80,6 %)	285 (91,35 %)
81-200	143 (38,13 %)	1 (0,56 %)	24 (17,91 %)	25 (8,01 %)
201-400	59 (15,73 %)	0	2 (1,49 %)	2 (0,64 %)
401-600	25 (6,67 %)	0	0	0
601-800	9 (2,4 %)	0	0	0
>800	6 (1,6 %)	0	0	0

Основная часть значений ППР на контрольной территории ( $P_{2km}$ ,  $P_{2ln}$  и  $P_{2km+P_{2ln}}$ ) не выходит за пределы 200 мБк/м<sup>2</sup>\*с. При этом на территории, подработанной угольными предприятиями (группа  $P_{2km+ШП}$ ), значения показателя в 26,4 % измерений выходят за пределы 200 мБк/м<sup>2</sup>\*с, а в 64,53 % измерений выше 80 мБк/м<sup>2</sup>\*с, что говорит о серьезном росте радоноопасности грунта и необходимости обязательного применения противорадоновых мероприятий в жилых строениях.

Существенное изменение показателя ППР в разных точках наблюдения в пределах шахтных полей говорит о влиянии данного источника радоноопасности не на локальном уровне одного нарушения, а в целом на всей площади шахтного поля, которое после отработки угольного пласта имеет вновь образованную и развивающуюся систему нарушений, служащих транспортными каналами для радона и его ДПР. У них разный потенциал для выхода газов, что необходимо исследовать дополнительно, но можно предположить его связь с возрастом выемки угольных пластов, расположением целиков, глубиной отработки и составом перекрывающих отложений. В целом же, грунты, расположенные в пределах отработанных частей шахтных полей,

характеризуются очень высокой интенсивностью выхода радона на поверхность.

Сравнение грунтов, расположенных в пределах шахтных полей и за их пределами, по классам радиационной опасности (согласно нормам радиационной опасности (НРБ-99/09)) приведено в табл. 4.

Таблица 4. Сравнение показателей ППР по классам опасности

КО*	Интервалы ППР, мБк/м <sup>2</sup> *с	P <sub>2km</sub>	P <sub>2ln</sub>	P <sub>2km</sub> +P <sub>2ln</sub>	P <sub>2km</sub> +ПП
1	0-80	177 (99,44 %)	108 (80,6 %)	285 (91,35 %)	143 (38,13 %)
2	81-200	1 (0,56 %)	24 (17,91 %)	25 (8,01 %)	133 (35,47 %)
3	>200	0 (0 %)	2 (1,49 %)	2 (0,64 %)	99 (26,40 %)

\*-классы опасности

Существенное количество точек наблюдения в пределах шахтного поля имеют 2 и 3 класс опасности, что значительно превышает фоновые показатели.

Пространственный анализ полученных значений эманацій радона в пределах подработанных территорий показал увеличение ППР в половине точек наблюдения, в пределах которых фиксировались пиковые значения выше 500, 1700 и 3310 мБк/м<sup>2</sup>\*с, что говорит о площадном характере увеличения эманацій радона (рис. 3.).

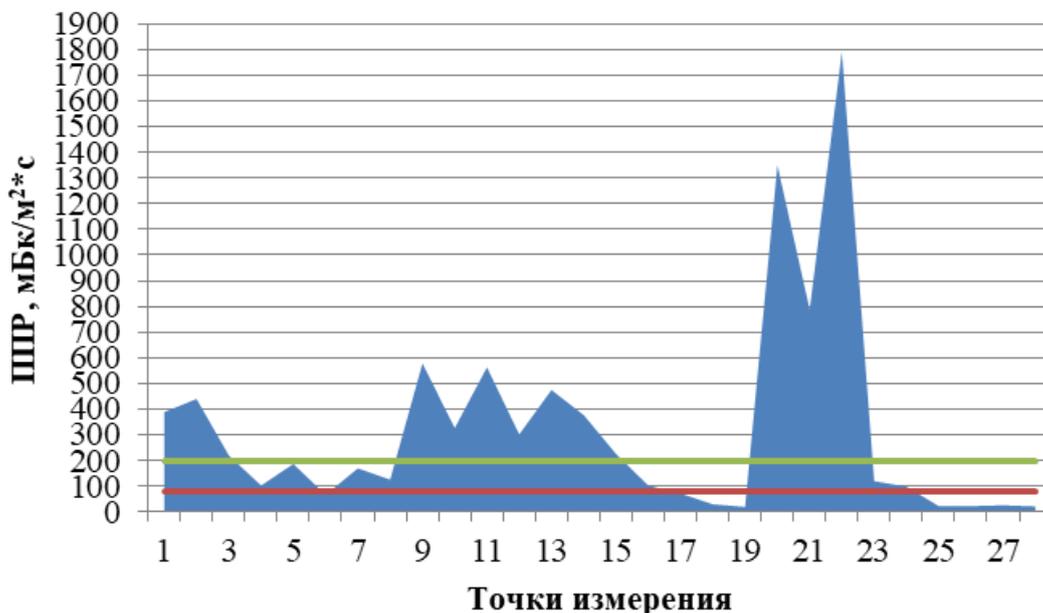


Рис. 3. Линия изучения ППР на шахтном поле (интервал измерений 2 м)

\* – красная линия – нижняя граница 2 класса опасности грунтов; зеленая линия – нижняя граница 3 класса опасности грунтов по ППР.

Интенсивность выхода радона можно связать с активностью нарушения и глубиной заложения. Формы аномалий приобретали разнообразные и часто отличающиеся от линейно вытянутых конфигураций, которые обычны для естественных транспортирующих каналов радона (дизъюнктивных нарушений). В целом, для динамически активного участка шахтного поля, на котором

происходят процессы проседания и проваливания грунта, характерен инверсионный рисунок ППР, при котором аномалиями выглядят точки с малыми показателями (рис. 4).

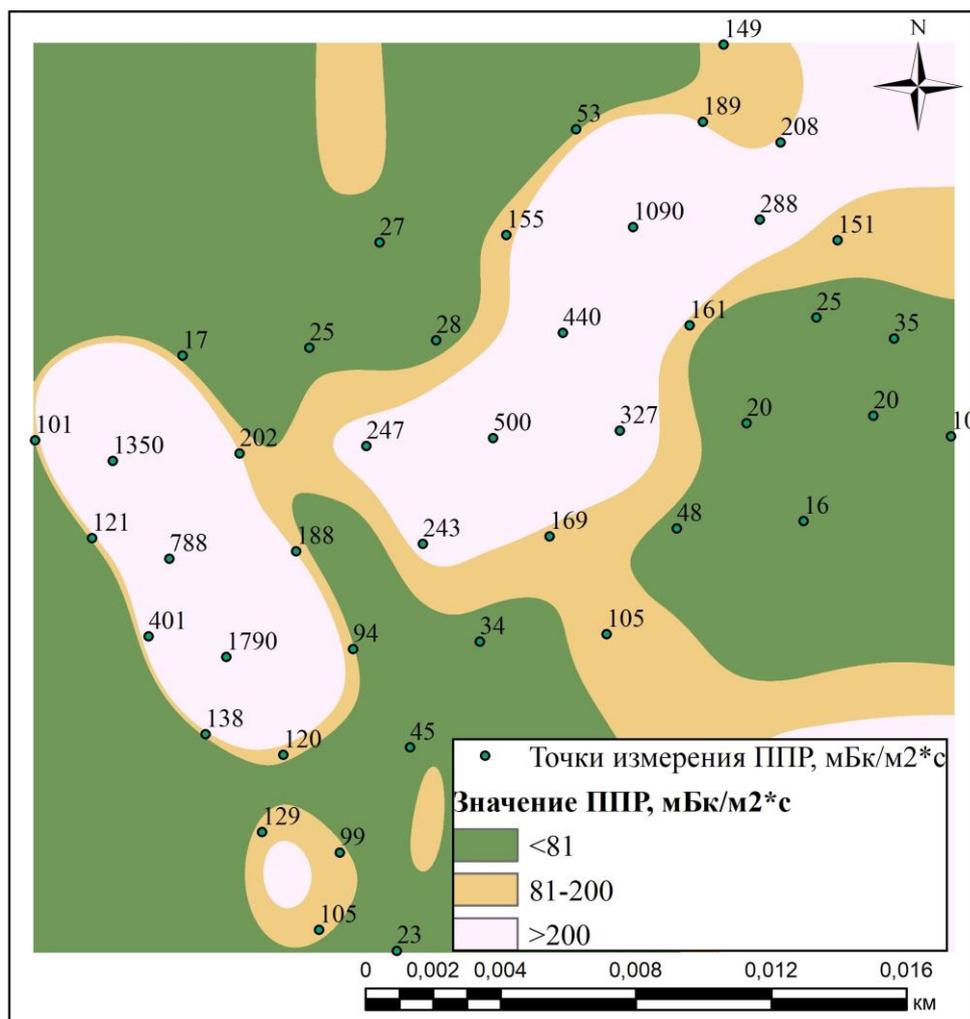


Рис 4. Пример инверсионного характера ППР в пределах шахтного поля (применен метод сплайна)

Участки с низкой ППР, вероятно, могут быть отнесены к зонам ненарушенных массивов горных пород, зонам локального сжатия блоков земной коры или динамически слабоактивным внутриблоковым участкам мульды проседания по аналогии с исследованиями (Seminsky, Bobrov, 2009; Utkin, Yurkov, 2010). Зоны с высокой ППР в таком случае могут определять наличие участков тектонической нарушенности пород или мобильных участков шахтного поля.

Таким образом, изученная территория шахтных полей представляет собой антропогенно измененную геологическую среду, которая имеет более высокие радиационные показатели эманации радона из грунта и требует существенного пересмотра противорадоновых мер в построенных и планируемых домостроениях.

3. Влияние подземных выработок на радоноопасность жилых строений выражается в более высоком среднем показателе ( $168,57 \pm 20,66$  Бк/м<sup>3</sup>) и росте пиковых значений эквивалентно равновесной объемной активности радона в пределах шахтного поля ( $1715$  Бк/м<sup>3</sup>) по сравнению с остальной территорией (среднее -  $120,97 \pm 14,79$  Бк/м<sup>3</sup>, максимальное -  $304,25$  Бк/м<sup>3</sup>).

Расположение изученных строений представлено на рис. 5. Оценка влияния добычи угля подземным способом производилась делением всех строений на группу домов в пределах шахтных полей (Case) и за их пределами (Control). Пересчет ОАР в ЭРОА производился с помощью коэффициента 0,5.

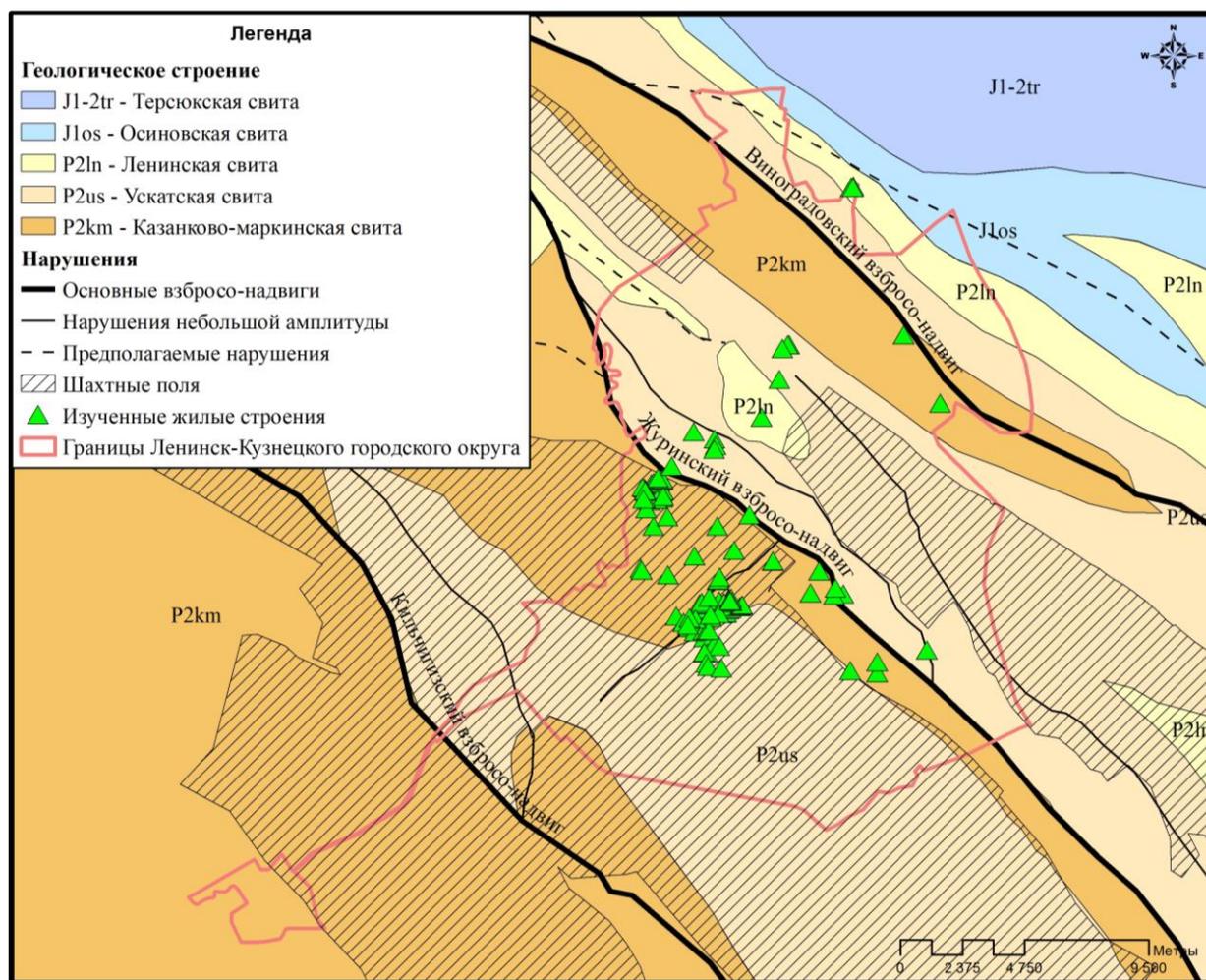


Рис.5. Расположение исследованных жилых строений

Распределение имеет схожий вид для обеих групп, при этом на территории шахтных полей большее количество строений имеет превышение показателя ЭРОА (рис. 6).

Диаграммы, отражающие распределение жилых строений по показателям ЭРОА на территории шахтных полей, характеризуется более равномерным распределением, прижатым к оси абсцисс, по сравнению с диаграммой группы контроля, а именно возрастает доля жилых строений с пиковыми значениями

выше 300 Бк/м<sup>3</sup>. В интервале от 0 до 325 Бк/м<sup>3</sup> для Case выборки характерна низкая встречаемость строений с такими показателями и увеличение числа домов с более высокими показателями, чем в группе Control.

Высокие, средние и пиковые значения ЭРОА обнаруживались в Польше (Wysocka, 2016) на территориях шахтных выработок, которые значительно отличались от аналогичных показателей земельных участков без шахт. На территории Германии данные закономерности не подтверждались, а связь обнаруживалась лишь в подвальных помещениях (Klingel, Kemski, 1999).

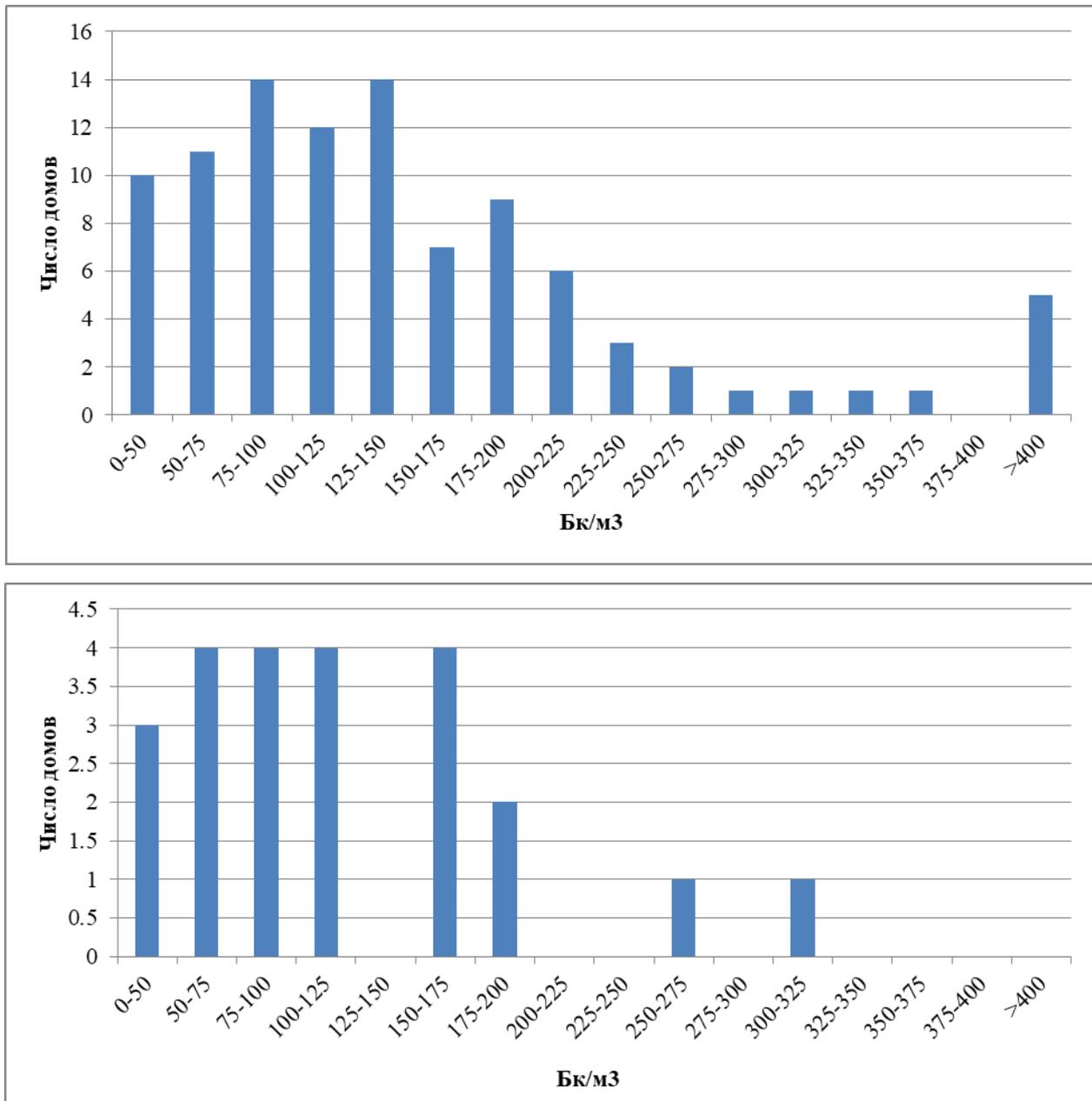


Рис. 6. Распределение жилых строений на территории шахтных полей и за их пределами

Показатель ЭРОА в домах группы Case варьирует в пределах 15,75-1715 Бк/м<sup>3</sup> со средним значением 168,57±20,66 Бк/м<sup>3</sup> (табл. 5).

В группе Control - от 24,75 Бк/м<sup>3</sup> до 304,25 Бк/м<sup>3</sup> со средним значением 120,97±14,79 Бк/м<sup>3</sup>. Очевидно, на территории шахтных полей жилые строения имеют более высокие среднюю, максимальную и медианную показатели. Значение границы 90 pc для шахтных полей 272,5 Бк/м<sup>3</sup>, а для группы контроля 119 Бк/м<sup>3</sup>.

Таблица 5. Описательная статистика ЭРОА жилых домов

Статистические параметры	Жилые дома Ленинск-Кузнецкого	
	ШП (Case)	Без ШП (Control)
Среднее значение, Бк/м <sup>3</sup>	168,57±20,66	120,97±14,79
Медиана, Бк/м <sup>3</sup>	127,25	101
Мода, Бк/м <sup>3</sup>	85,5	-
Max, Бк/м <sup>3</sup>	1715	304,25
Min, Бк/м <sup>3</sup>	15,75	24,75
Коэф. вариации, %	120,70	58,65
90 pc	272,5	119
10 pc	47,25	84,75
Кол-во измерений	97	23

Сравнение радиационной опасности жилых строений на территории шахтных полей и за их пределами по НРБ (см. табл. 6.).

Таблица 6. Распределение ЭРОА жилых домов

КО*	Интервалы ОАР, Бк/м <sup>3</sup>	На территории ШП, %	За пределами ШП, %
1	0-200	79,38	91,30
2	201-400	15,47	8,70
3	>400	5,15	0

\*-классы опасности

Различия между группами контроля и случая не являются столь выраженными, как аналогичные группы по грунту, что позволяет также утверждать о конструктивных различиях строений и их влиянии на накопление радона в помещении. Для территорий шахтных полей характерно превышение показателя ЭРОА для 20,62 % жилых строений, при этом в 5,15 % случаев оно фиксируется более чем в 2 раза. Для территории контроля в 8,7 % случаев определяется превышение ЭРОА. В обеих группах доля жилых строений с превышением радона внутри здания превышает средние региональные и среднероссийские показатели, что еще раз актуализирует необходимость проведения исследований в вопросах оценки потенциальных естественных и антропогенных источников радоноопасности геологической среды на территории угледобывающих поселений.

Для установления геогенности радона помещений была оценена связь между ОАР жилых строений и плотностью потока радона грунтов в их окрестностях (рис. 7).

При использовании коэффициента корреляции Спирмена была получена сильная положительная корреляционная связь ( $r=0,79$ ,  $p<0,001$ ) между показателями ППР из грунта и ЭРОА жилых строений как на шахтных полях,

так и за их пределами. Данная связь объясняет преобладающее значение ППР в уровне ОАР в изученных строениях над и вне шахтной выработки.

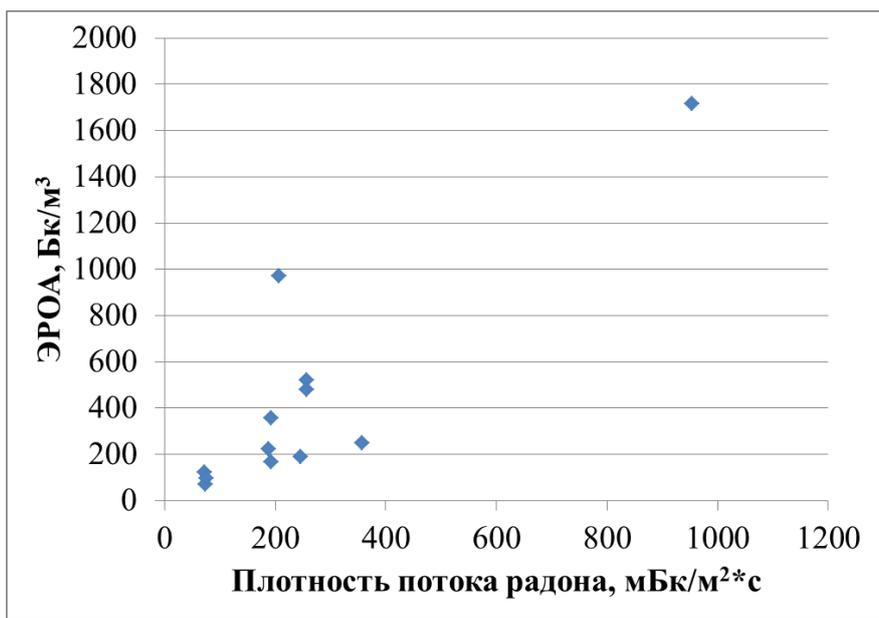


Рис. 7. Связь показателей ППР из грунта и ЭРОА жилых строений.

В областях проседания грунта прослеживается связь между ППР и ЭРОА жилых строений (см. рис. 8).

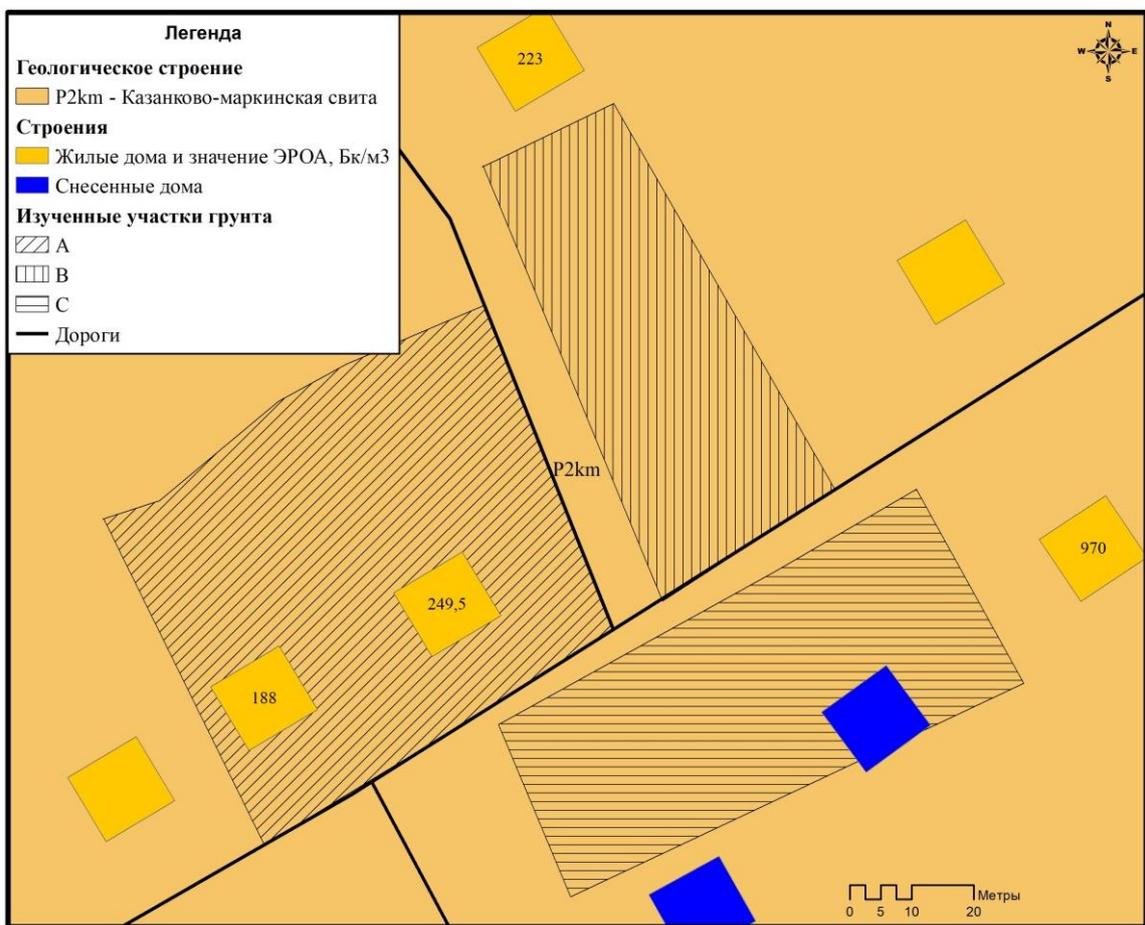


Рис. 8. Участок улицы с областями проседания грунта, Ленинск-Кузнецкий

В изученных домах показатель ЭРОА варьирует от 188 до 970 Бк/м<sup>3</sup>. Показатели ППР из грунта также варьируют в пределах от 10 до 1790 мБк/м<sup>2</sup>\*с. На территории участка «А» ППР варьирует от 81 мБк/м<sup>2</sup>\*с до 631 мБк/м<sup>2</sup>\*с, со средним значением 301,5±32,76 мБк/м<sup>2</sup>\*с, а показатель ЭРОА в жилых строениях равен 218,75 Бк/м<sup>3</sup>. По участку «В» ППР изменяется в пределах 14-668 мБк/м<sup>2</sup>\*с, со средним 187,65±21,16 мБк/м<sup>2</sup>\*с, а в жилых строениях концентрация радона - 223 Бк/м<sup>3</sup>. По участку «С» показатель ППР варьирует от 10 мБк/м<sup>2</sup>\*с до 1790 мБк/м<sup>2</sup>\*с, со средним значением 206,17±32,02 мБк/м<sup>2</sup>\*с. Стоит отметить снижение показателя ППР в местах привезенного глинистого грунта, который использовался для засыпания территории ликвидированных домов. В пределах и окрестностях участка «С» находятся снесенные здания и жилое строение с показателем ЭРОА 970 Бк/м<sup>3</sup>. В подвальном помещении данного строения показатель ЭРОА равен 9900 Бк/м<sup>3</sup>. Таким образом, в пределах данного участка Ленинск-Кузнецкого района наблюдается закономерность между высокими показателями ППР и ЭРОА жилых строений.

В силу значительного количества строений (48,06 %), расположенных в пределах шахтных полей, из которых приблизительно пятая часть жилых домов являются потенциально радоноопасными и в 5,15 % случаев крайне опасными, население Ленинск-Кузнецкого района ежегодно получает существенную дополнительную радиационную нагрузку, что может приводить к увеличению канцерогенных рисков. Естественная геологическая среда также является достаточно опасной, так как в 8,7 % случаев фиксируется превышение показателя ЭРОА внутри жилых домов. Полученные данные могут быть экстраполированы на другие старопромышленные горнодобывающие территории с поселениями промышленного профиля Кузнецкого угольного бассейна и выявляют необходимость создания региональных карт радоновой опасности с учетом установленных закономерностей.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Наиболее существенным антропогенным источником радоновой опасности геологической среды являются зоны нарушенности пород кровли шахтных выработок, возникшие после добычи угля подземным способом. Для монопрофильного Кузбасса данная проблема затрагивает достаточно существенные территории поселений, специализирующихся на данном секторе экономики. Потенциальные естественные факторы радоновой опасности на территории Ленинск-Кузнецкого района, главным образом, связаны с тектоническим строением, отличающимся блоковой структурой, которая формируется по системе крупных взбросо-надвигов. Основными источниками радоновой опасности в этом случае выступают естественные тектонические нарушения.

Потенциальная радоноопасность жилых строений определяется, главным образом, их территориальным положением в объектах геологической среды. Основную потенциальную радоноопасность в Ленинск-Кузнецком районе представляют шахтные поля. Они занимают 47,74 % от всей территории административного образования, что в совокупности с тектоническими

нарушениями (7,58 %) формирует на более чем половине территории повышенный потенциальный радиационный риск, связанный с радоном.

Пространственное распределение домов также подчеркивает важность оценки радоноопасности территории над выработками угля, например, 48,06 % ЖС располагается на территории шахтных полей в Ленинск-Кузнецком районе.

Таким образом, изменения в геологической среде, вызванные подземной добычей угля, существенно влияют на ППР из грунта, которая имеет более высокие средние и максимальные значения, по отношению к фоновым показателям. Большая часть грунтов подработанных пространств относится ко 2 и 3 классу радоноопасности по НРБ-99/2009 и требует средних и усиленных мер по радиационной защите строения. На территории фиксируются процессы проседания и проваливания грунта, что требует обязательного постоянного контроля ОАР в помещении. На поверхности территорий подработанных пространств фиксируется инверсионный рисунок эманации радона, когда минимальный поток отмечается в единичных замерах. В тоже время на территории шахтного поля обнаруживаются участки с низким потоком радона, что позволяет считать ее не полностью радоноопасной.

Жилые строения подработанных пространств характеризуются более высокими показателями ЭРОА, чем дома за их пределами. Пятая часть жилых строений имеет показатель выше допустимой, что создает условия для существенного роста бытового канцерогенного риска. При этом доля жилых строений за шахтными полями также имеет высокий показатель ЭРОА, что может объясняться их расположением в зоне естественной тектонической нарушенности.

В исследовании на основе корреляционного анализа выявлено, что в жилых домах преобладает геогенный радон.

Полученные данные могут быть экстраполированы на другие районы Кузнецкого угольного бассейна, что выявляет необходимость создания региональных карт радоновой опасности с учетом установленных закономерностей.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

### В изданиях из списка WoS и Scopus:

1. **Leshukov T.** The Assessment of Radon Emissions as Results of the Soil Technogenic Disturbance / T. Leshukov, A. Larionov, K. Legoshchin, Yu. Lesin, S. Yakovleva // International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH). 2020. № 24 (17). С. 9268.

2. **Leshukov T.V.** Radon hazard assessment in region with intense coal mining industry / T.V. Leshukov, A.V. Larionov, K.V. Legoshchin, S.N. Yakovleva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V.543. P. 012026. DOI 10.1088/1755-1315/543/1/012026.

### В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

3. **Лешуков Т.В.** Особенности эманации радона из грунтов на территориях, подработанных угольными шахтами (на примере Ленинск-Кузнецкого района) /

**Т.В. Лешуков**, А.В. Ларионов, К.В. Легощин, С.Н. Яковлева // Проблемы региональной экологии. 2019. №6. С. 140-143.

**4. Лешуков Т.В.** Пространственная изменчивость плотности потока радона на территориях подземной добычи угля / **Т.В. Лешуков**, К.В. Легощин, А.В. Ларионов // Успехи современного естествознания. 2020. №4. С.93-97.

**5. Лешуков Т.В.** Радоноопасность геологической среды в угледобывающих районах: пространственное исследование с применением геоинформационных систем / **Т.В. Лешуков**, К.В. Легощин, А.В. Ларионов, Ю.В. Лесин // Успехи современного естествознания. 2020. №7. С. 126-131.

**В прочих изданиях:**

6. Легощин К.В. Структура геоинформационной системы оценки последствий длительного воздействия радона на население в угледобывающем регионе / К.В. Легощин, **Т.В. Лешуков** // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. 2018. С. 149-151.

**7. Лешуков Т.В.** Эманация радона на территориях, подработанных угольными предприятиями / **Т.В. Лешуков** // IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле: материалы конференции. 2018. С. 308-310.

8. Легощин К.В. Радоновая опасность в жилых помещениях на территориях развития угледобывающей промышленности / К.В. Легощин, **Т.В. Лешуков** // Фундаментальные и прикладные аспекты устойчивого развития ресурсных регионов: сборник научных статей. 2020. С. 225-230.