

АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА

На правах рукописи

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯ РАДОНА И
ЕГО ВОЗМОЖНОЕ ПАТОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ
(НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА)**

Специальность: 2508.01 – Геоэкология

Отрасль науки: Науки о Земле

Соискатель: **Махмудова Фарах Фуад гызы**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии

Баку – 2021

Диссертационная работа выполнена в Институте Геологии и Геофизики Национальной Академии Наук Азербайджана

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, член-корр. НАНА, проф.
Алиев Чингиз Саид оглы

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, член-корр. НАНА
Кенгерли Талат Насрулла оглы

доктор биологических наук, проф.
Исмаилов Нариман Мамед оглы

доктор наук о земле, доцент
Алиев Расим Наджаф оглы

Разовый Диссертационный совет ВЕД 1.01 Высшей Аттестационной Комиссии при Президенте Азербайджанской Республики, действующий на базе Института Геологии и Геофизики Национальной Академии Наук Азербайджана

Председатель разового диссертационного совета:

доктор геолого-минералогических наук, академик, проф.


Фейзуллаев Акпер Акпер оглы

Ученый секретарь разового диссертационного совета:

доктор наук о земле, доцент


Бабаев Гулам Рустам оглы

Председатель научного семинара:

доктор геолого-минералогических наук, академик, проф.


Мамедов Парвиз Зия оглы



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень изученности темы. Радиационная безопасность населения является глобальной и важной проблемой современности. Основной радиационный фон Земли формируется за счет естественных источников излучения. Многочисленные исследования, проведенные за рубежом, убедительно доказали что, радон и его короткоживущие дочерние продукты распада создают около 40-75 % суммарной дозы, получаемой человеком от всех природных источников ионизирующего излучения. В настоящее время защита населения от воздействия радона, природного радиоактивного газа, является важной проблемой, обуславливающей необходимость проведения ряда исследовательских работ по выявлению источников этого газа, определению его количества в жилых помещениях.

С повышением объемной активности радона внутри помещений, наблюдается тенденция к росту количества больных злокачественными новообразованиями легких. В 1987 г. радон и его дочерние продукты распада были отнесены экспертами Международного Агентства по изучению рака к группе элементов, безусловно канцерогенных для человека.

Во многих развитых странах мира в рамках национальных и региональных программ ведутся работы в области оценки и картирования радоновой обстановки. Результаты радиометрических исследований, проводимых в Азербайджане с 1970 г, показали, что естественный радиационный фон территории Азербайджана находится в пределах, характерных для горных пород и почв земного шара, и составляет около 4-12 мкР/ч. При этом была установлена связь естественного радиационного поля с геологическим строением территории.

Начиная с 2000 года в нашей стране хотя и были выполнены отдельные работы, касающиеся проблемы радона, однако, проблема требовала всестороннего комплексного ее изучения с учетом особенностей геологического строения изучаемой территории, распределения объемной активности радона и факторов, влияющих на ее изменение, роли радонового излучения в степе-

ни заболеваемости населения злокачественными новообразованиями легких.

Работа выполнялась в рамках проекта Швейцарского Национального Научного Фонда «Создание кадастра и карты распространения радона в Азербайджане с использованием швейцарской методологии и опыта», а также при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики в рамках грантового проекта №EIF-2013-9 (15) -46/24/2-M-33 и программы мероприятий «Изучение радоновой опасности в Азербайджане и меры по ее снижению» на 2014-2018 гг.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является территория Азербайджана, предметом – изучение радоновой обстановки на территории Азербайджана и выявление степени патогенности радонового излучения для населения республики.

Цель работы. Целью диссертационной работы является комплексная оценка радоновой обстановки на территории Азербайджана, определение критических зон радоноопасности и выявление степени патогенности радонового излучения для населения различных регионов.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- Выявление зон со сравнительно высокими концентрациями объемной активности радона;
- Выявление основных источников проникновения радона в помещение в отдельных регионах;
- Анализ статистических данных заболеваемости населения со злокачественными новообразованиями органов дыхания за период 2005-2015 гг.;
- Выявление зависимости между средними значениями объемной активности радона и показателем количества больных злокачественными новообразованиями легких.

Методы исследования:

Для измерения и мониторинга объемной активности радона были использованы экспрессные (с помощью радиометров радо-

на RAD7, RadonScout и RadonScoutPlus) и интегральные методы (с помощью трековых детекторов Radtrak2 шведской фирмы Landauer Nordic) измерения объемной активности радона.

При рассмотрении биологических эффектов облучения радоном был использован модельный подход, в основу которого положен корреляционный метод.

Защищаемые положения:

1. Патогенные зоны с высокой интенсивностью радонового излучения, превышающей уровень предельно-допустимых норм в Азербайджане;

2. Взаимосвязь между объемной активностью радона и заболеваемостью населения злокачественными новообразованиями легких, проживающего в патогенных зонах Азербайджана.

Научная новизна исследования:

- Выявлены зоны со сравнительно высокими концентрациями радона и проведено районирование территории Азербайджана по степени радоноопасности;

- Определены основные источники радонового излучения;

- Выявлена высокая заболеваемость злокачественными новообразованиями легких в пределах горно-складчатой зоны Большого и Малого Кавказа и Галыша, где зафиксированы повышенные значения объемной активности радона;

- На основе корреляционного анализа установлена высокая степень зависимости показателя количества больных злокачественными новообразованиями легких от уровня объемной активности радона для различных регионов.

Практическая значимость полученных результатов:

- Установлены районированные показатели объемной активности радона для территории Азербайджана;

- Даны соответствующие рекомендации по обеспечению радиационной безопасности для лиц, проживающих в условиях повышенной концентрации радона, определен комплекс дополнительных исследований и мероприятий, необходимых для снижения опасности радонового облучения населения.

Апробация и применение работы: По теме диссертации опубликовано 23 научных статей и 9 тезисов докладов конференций. Основные результаты и положения диссертационной работы докладывались на республиканских и международных конференциях:

1. 11th International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk mapping. Prague, 2012.

2. Integrated Approach for Unlocking Hydrocarbon Resources. 3-5 October, 2012. Baku, Azerbaijan.

3. Seisomoforecasting researches carried out in the Azerbaijan territory. 7-12 October, 2012. Baku, Azerbaijan.

4. V международная конференция молодых ученых и студентов. Баку, Азербайджан, 2013.

5. Первая Киевская Международная Научная Конференция «Научные и методологические основы медицинской геологии». Киев, 2013.

6. 12th International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk mapping. Prague, 2014.

7. IGCP 610 Second Plenary Meeting and Field Trip, Baku, Azerbaijan, 12-20 October, 2014.

8. 2nd International Conference “Radon in the environment”, 2015, Krakow, Poland.

9. 3rd International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research, 2015, Budva, Montenegro.

10. RAD 2017, Fifth International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research, Budva, Montenegro.

11. The 8th International Conference on Medical Geology. August 12-15th, 2019. Guiyang, China.

Название организации, где была выполнена работа

Диссертационная работа выполнена в Институте Геологии и Геофизики НАНА.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения (6950 символов), 5 глав (1-ая глава – 40560 символов; 2-ая глава – 35420 символов; 3-я глава – 30165 символов; 4-ая глава – 25634 символов; 5-ая глава – 31019 символов),

выводов (2570 символов), списка цитируемой литературы, включающего 93 наименования. Общий объем работы составляет 145 страниц, включая 30 рисунков и 30 таблиц.

Благодарность. Диссертационная работа была выполнена под научным руководством член-корр. НАНА, доктора геолого-минералогических наук, профессора Ч.С.Алиева, которому автор выражает свою благодарность за научное руководство, всестороннюю поддержку и помощь при выполнении работы. Автор выражает глубокую благодарность директору Института Геологии и Геофизики НАН Азербайджана, академику А.А.Ализаде за постоянное внимание к проведенным исследованиям. Автор выражает глубокую признательность академику НАНА И.С.Гулиеву за большую поддержку и внимание к работе, академику НАНА А.А.Фейзуллаеву за помощь и поддержку на всех этапах выполнения работы. Автор весьма признательна коллегам за оказанное содействие при выполнении измерительных работ.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрены актуальность темы диссертации, цель и задачи диссертационной работы, положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость полученных данных, а также данные о публикациях и апробации работы.

В первой главе дается детальный обзор состояния исследований радиационного фона окружающей среды, обусловленного радоном. В данной части работы представлен обзор выполненных в последнее время эпидемиологических исследований риска возникновения рака легкого, связанного с облучением радоном и его дочерними продуктами. Особое внимание уделено результатам объединенного анализа исследований облучения в жилищах методом случай-контроль и когортных исследований работников шахт, подвергшихся облучению относительно низкими уровнями объемной активности радона. Эпидемиологические исследования в жилищах предоставляют надежную и согласованную оценку риска возникновения злокачественных новообразований легких, статистически значимую при средней объемной активности радона около 200 Бк/м³.

Европейское объединенное исследование, опубликованное С.Дарби и другими учеными, является самым масштабным из всех подобных исследований¹. Это исследование включало в себя 7148 случаев рака легкого и 14 208 контролей из 13 Европейских исследований по контролю над концентрацией радона в жилых помещениях. Период наблюдения составил 23 года. Индивидуальное облучение радоном рассчитывалось как взвешенное по времени среднее значение концентраций радона во всех домах в течение последних 5-34 года. Была разработана статистическая модель, в которой дополнительный риск рака легких был пропорционален измеренной концентрации радона. Кроме того, облучение радоном было подразделено на категории, а относительный риск по категориям измеренных концентраций радона был нанесен на график в зависимости от среднего уровня в этих категориях. В обеих моделях детальная стратификация проводилась для изучения роли возраста, пола и региона проживания.

По результатам обобщенного анализа относительный избыточный риск рака легкого для уровня концентрации радона 100 Бк/м³ составлял 8%. Это пропорциональное увеличение наблюдалось независимо от возраста, пола и истории курения. Соответствующие оценки риска для некурящих, бывших курильщиков и курильщиков составили 7%, 8% и 11% соответственно. Связь между воздействием радона и риском развития рака оказалась приблизительно линейной. У людей, живущих в домах с концентрациями объемной активности радона 100-199 Бк/м³ риск развития рака легких был значительно выше, чем у пациентов, живущих в домах с концентрациями <100 Бк/м³.

С.Дарби² и др. подробно изложили результаты работы, проведенной в рамках Европейской объединенной исследовательской

¹ Darby S, et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies // British Medical Journal. 2005; 330:223–227

² Darby S, et al. Residential radon and lung cancer: detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7, 148 subjects with lung cancer and 14,208 subjects without lung cancer from 13 epidemiological studies in Europe // Scandinavian Journal of Work, Environment and Health. 2006; 32(Suppl. 1): 1–83

программы по изучению комбинированного воздействия курения и радона. В расчетах, независимо от статуса курения, избыточный относительный риск брался как 16% на 100 Бк/ м³ долгосрочной средней концентрации объемной активности радона. Для тех, кто прекратил курить, риски связанные с радоном, значительно ниже, чем для тех, кто продолжает курить, однако, они значительно выше, чем риски для пожизненно некурящих.

Далее в главе представлены основные результаты радиометрических исследований, проведенных в Азербайджане. Естественная радиоактивность на территории Азербайджана колеблется около 4-12 мкР/ч, повышаясь в отдельных местах до 20-30 мкР/ч. Пространственные вариации радиоактивности имеют случайный характер и соответствуют нормальному закону.

С 2010 года в Институте геологии и геофизики развивается новое научное направление – медицинская геология, являющейся новым, стратегически значимым направлением в геологии, изучающем связь между особенностями геологической среды и заболеваемостью населения, состоянием животного и растительного мира. Целью медицинской геологии является выявление вредных геологических факторов и условий их воздействия, которые способствуют ухудшению состояния здоровья, а также разработка рациональных принципов, стратегий, программ и подходов, необходимых для устранения или сведения к минимуму рисков для здоровья.

Во второй главе рассмотрены виды источников ионизирующего излучения и их воздействие на организм человека, допустимые уровни облучения природными источниками излучения, раскрыта сущность проблемы радона и выявлены основные источники поступления радона в помещения.

Изотопы урана-238, урана-235 и тория-232 дают начало естественным радиоактивным семействам, в состав которых входят вторичные радиоактивные элементы. Периоды полураспада этих материнских нуклидов составляют для тория $14 \cdot 10^9$ лет, урана-238 $4,5 \cdot 10^9$ лет, урана-235 $0,7 \cdot 10^9$ лет. Конечными элементами этих семейств являются стабильные изотопы свинца

с массовыми числами 206, 207 и 208.

Радон является единственным газообразным продуктом, который образуется в процессе распада всех радиоактивных семейств. В природе радон встречается в трех основных формах: в виде ^{222}Rn , период полураспада $T=3,8$ суток, образуется в радиоактивном семействе урана-238; ^{220}Rn (торон), период полураспада $T=55$ секунд, член радиоактивного ряда тория-232; ^{219}Rn (актинон), период распада $T=4$ секунд, образуется в радиоактивном семействе актиния. Наибольший вклад в суммарную дозу облучения дает радон-222.

Большой период полураспада и химическая инертность ^{222}Rn , находящегося в цепочке распада урана-238, повышает его содержание в воздухе помещений. Большая часть облучения исходит от короткоживущих дочерних продуктов распада радона. Короткоживущие дочерние продукты распада радона-222 (изотопы Po-218 и Po-214) активно облучают внутренние органы человека альфа-частицами.

Концентрация объемной активности радона в закрытых помещениях в среднем, примерно 8 раз выше, чем в наружном воздухе. А объемная активность радона в наружном воздухе существенно меняется в разных точках земной поверхности. Радон накапливается внутри жилых и других помещениях достаточно изолированных от внешней среды. Почва и строительные материалы являются основными источниками поступления радона в жилые помещения.

Содержание радионуклидов радия-226 и тория-228, строение и влажность почвы определяют концентрацию объемной активности радона в почве. Наблюдается прямая зависимость между миграцией атомов радона и влажностью почвы. А эмиссия радона из почвы имеет сезонный характер. В летний период повышение температуры приводит к расширению пор в почве, следовательно, усиливает выделение радона в атмосферу. А между атмосферным давлением и концентрацией радона имеется сильная обратная взаимосвязь, так как, повышение атмосферного давления приводит к

падению концентрации радона в наружном воздухе. Напротив, в период пониженного атмосферного давления наблюдаются повышенные концентрации радона в воздухе.

Строительные материалы также являются источником поступления радона в жилые помещения. По результатам исследований средняя скорость поступления радона в жилые дома в США составляет 20 Бк/м³, при этом только 20 % от этой величины поступает непосредственно из строительных материалов³. Дерево, кирпич и бетон, используемые в качестве строительных материалов, выделяют относительно немного радона. Особенно высокой удельной радиоактивностью обладают гранит, пемза, блоки из фосфогипса, кварцевых глинистых сланцев, глинозем, кальций силикатный шлак⁴.

Далее в главе даются основные технические характеристики приборов, используемых для измерения и мониторинга объемной активности радона и его дочерних продуктов распада, а также охарактеризованы экспрессные, интегральные и квазинтегральные методы измерения объемной активности радона. Описаны методики экспрессного измерения объемной активности радона в воздухе и подпочвенном воздухе с помощью радиометров радона RAD7, RadonScout и RadonScoutPlus. С помощью интегральных методов среднее значение объемной активности радона определяется за длительный период времени (недели, месяцы). Применение трековых детекторов является наиболее используемым интегральным методом, который широко применяется в обследованиях помещений. Нечувствительность к гамма- и бета-излучениям, длительное хранение информации и возможность одновременного экспонирования большого числа детекторов являются основными достоинствами этого метода. Измерения объемной активности радона в помещениях прово-

³ Кольтовер В.К. Радоновая радиация: источники, дозы, биологические эффекты // Вестник РАН 1996 Е.66 №2. стр. 114-128

⁴ Радиация. Дозы, эффекты, риск. Мир,1990. 79 стр.

дились с помощью трековых детекторов Radtrak2 шведской фирмы Landauer Nordic.

В этой главе также рассмотрены основные модели оценки радиационного риска – аддитивная (модель абсолютного риска) и мультипликативная (модель относительного риска). Приведены модели оценки риска рака легких, использованные в Публикации №50 МКРЗ (Международный Комитет по Радиационной защите) и предложенные национальным комитетом США по биологическим эффектам ионизирующего излучения (BEIR).

В данной работе при рассмотрении биологических эффектов облучения радоном используется модельный подход, в основу которого положен корреляционный метод.

В третьей главе рассматриваются закономерности процесса формирования радонового поля Азербайджана. В частности, в рамках первого защищаемого положения, приводится детальное описание проведенных исследований. Измерения объемной активности радона в помещениях проводились с помощью 2500 трековых радоновых детекторов Radtrak2. Трековые радоновые детекторы были размещены преимущественно на первых этажах жилых и промышленных зданий в различных регионах Азербайджанской Республики. Затем упакованные в специальную пленку детекторы были отправлены в Швецию на обработку.

На основе полученных данных была построена карта распределения объемной активности и максимальных значений объемной активности радона (рис.1).

Было установлено, что замеренные концентрации объемной активности радона внутри помещений изменяются в широких пределах: от 2 до 1110 Бк/м³. Из 2407-и домов, где были проведены замеры в 169-и зафиксирована концентрация радона выше 200 Бк/м³, в 418-и концентрация оказалась между 100 и 200 Бк/м³, в остальных же – менее 100 Бк/м³. Полученные данные были обработаны с использованием статистических методов.

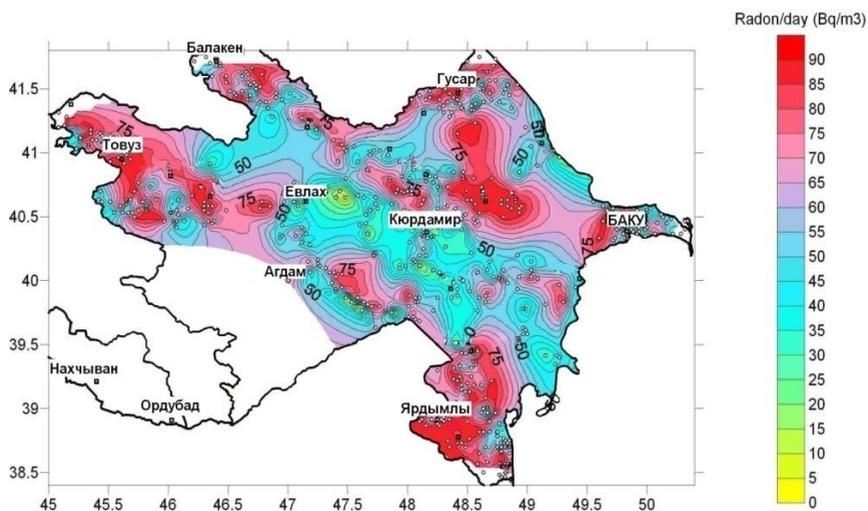


Рис.1. Распределение содержания объемной активности радона внутри помещений на территории Азербайджана

Распределение замеренных значений объемной активности радона приводится на рис. 2. Как видно оно носит логарифмически-нормальный характер с модальным значением 58 Бк/м³ и средним значением 84 Бк/м³. При этом, верхний предел фоновых значений составляет 116 Бк/м³. Все значения, находящиеся выше, могут считаться статистически повышенными⁵. С точки зрения опасности для здоровья людей следует обратить особое внимание на жилые помещения, где объемная активность радона превышает максимально допустимые нормы в Азербайджане (200 Бк/м³). Количество таких домов составляет около 7% от общего количества обследованных объектов.

⁵ Veliyeva F.F., Aliyev Ch.S., Feyzullayev A.A., Baghirli R.J., Pampuri L., Hoffmann M., Valsangiacomo C. Indoor Radon Mapping in Azerbaijan. 11th International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping / Czech Geological Survey. Prague, 2012. pp. 260-268

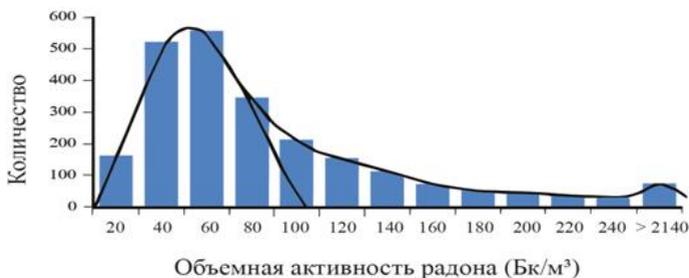


Рис.2. Гистограмма распределения значений объемной активности радона внутри помещений в Азербайджане

Результаты исследований, проведенных на территории Азербайджана с целью выявления количества радонового газа, были включены в «Европейскую карту радона внутри помещений». На электронной карте, составленной Европейской Комиссией, отражены показатели распространения вышеупомянутого газа и на территории нашей страны (рис. 3 и 4).

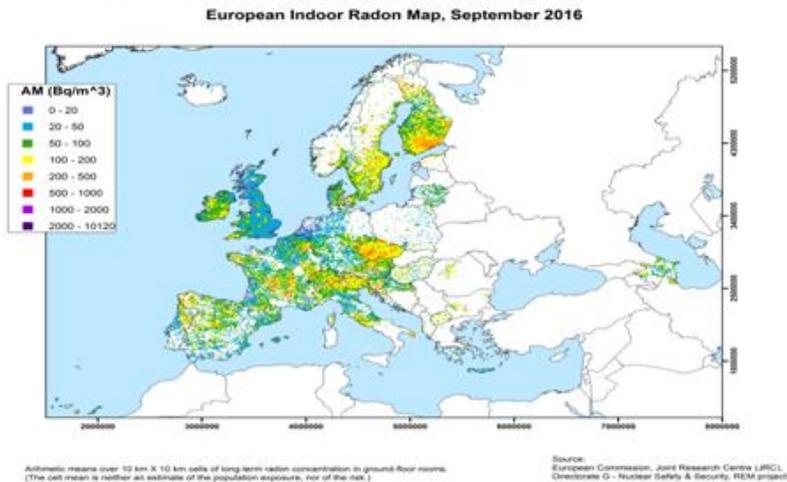


Рис.3. Карта распределения объемной активности радона в помещениях на территории Европы⁶

⁶ Hoffmann M., C.S.Aliyev, A.A.Feyzullayev, R.J.Baghirli, F.F.Veliyeva, L.Pampuri, C.Valsangiacomo, T. Tollefsen, G. Cinelli. First map Residential Indoor Radon Measurements in Azerbaijan // Radiation Protection Dosimetry, 2016. pp.1-8

На карте показаны средние показатели объемной активности радона в жилых помещениях. Каждый квадрат на карте – это площадь размером 10x10 км. Каждому квадрату соответствует в среднем от 2 до 12 детекторов (рис.4).

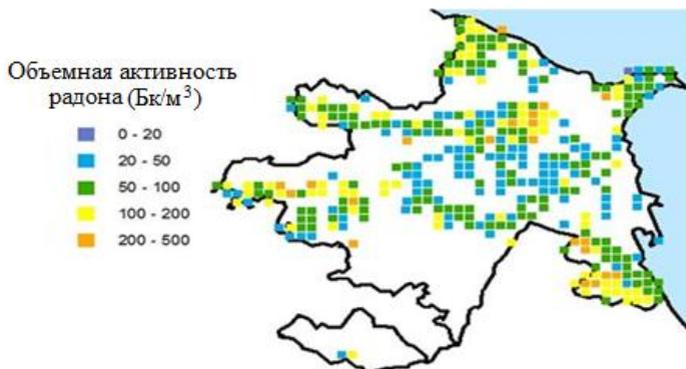


Рис.4. Карта распределения объемной активности радона в помещениях на территории Азербайджана

Анализ полученных данных показывает, что распределение объемной активности радона по территории Азербайджана существенно неоднородно. Повышенные значения концентрации объемной активности радона характерны для горно-складчатых областей Большого и Малого Кавказа, Талыша, сложенных более древними и дислоцированными породами, а сравнительно низкие значения объемной активности радона приурочены к Куринской и Прикаспийско-Кубинской депрессионным зонам, представленных на поверхности земли породами четвертичного возраста.

В результате исследований территория Азербайджана была разделена на 4 зоны по степени радоноопасности (объемной активности радона внутри помещений): опасная (200-400 Бк/м³), умеренно опасная (100-200 Бк/м³), условно безопасная (50-100 Бк/м³) и безопасная (<50 Бк/м³).

Далее автором приводятся результаты исследований, проведенных в 155 населенных пунктах девяти административных районов Шамахи-Исмаиллинской и Шеки-Закатальской зон.

При проведении замеров объемной активности радона внутри помещений была использована швейцарская методика исследований. Измерения проводились на первых этажах жилых домов (где обычно наблюдается самый высокий уровень концентрации радона) с помощью радиометров радона RadonScout и RadonScoutPlus. Эти радиометры радона устанавливались в различных жилых комнатах одного дома на три дня. В зависимости от количества комнат общая продолжительность работы прибора в одном доме составляла 7-12 дней. При этом в комнате, где устанавливался прибор, на время его работы старались уменьшить влияние вентиляции (окна и двери по мере возможности оставались закрытыми). Полученные данные были обработаны с использованием статистических методов.

Замеренные концентрации объемной активности радона внутри помещений изменяются в широких пределах: в среднем от 20 до 520 Бк/м³. Распределение объемной активности радона на исследуемой территории носит неравномерный характер: наблюдается чередование зон с низкими и высокими концентрациями объемной активности радона в жилых помещениях. На основе этих данных были построены карты объемной активности радона в жилых помещениях Шамахи-Исмаиллинской (рис. 5) и Шеки-Закатальской (рис. 6) зон.

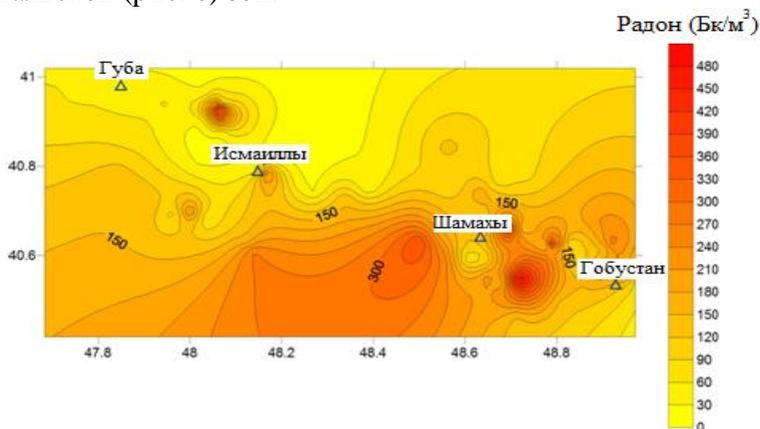


Рис. 5. Карта распределения объемной активности радона (Бк/м³) в жилых помещениях в Шамахи-Исмаиллинской зоне

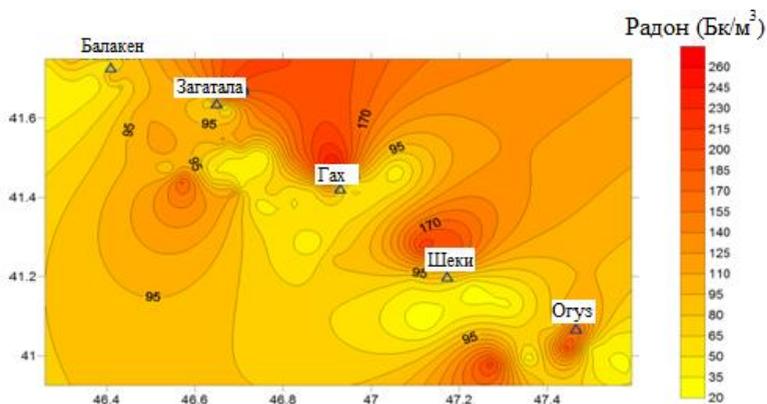


Рис.6. Карта распределения объемной активности радона ($\text{Бк}/\text{м}^3$) в жилых помещениях в Шеки-Закатальской зоне

Результаты картирования содержания объемной активности радона внутри помещений в Азербайджане показали локализацию его повышенных концентраций в основном в зданиях, расположенных в горной местности (рис.7.). Как видно из представленных данных, одним из факторов, контролирующих такой характер распределения радона, может быть возраст пород⁷.

Результаты измерений концентрации объемной активности радона в воздухе помещений хорошо согласуются с данными о содержании радона в почвенном воздухе. Объемная активность радона в почвенном воздухе, замеренная в пределах Южного склона Большого Кавказа, изменяется от 30 до 11000 $\text{Бк}/\text{м}^3$ (в среднем 946 $\text{Бк}/\text{м}^3$). Высокие концентрации объемной активности радона в почвенном воздухе наблюдались, в основном, в сейсмически активном Шамахинском районе, где повышенные значения объемной активности радона отмечены также и внутри помещений.

⁷ Алиев Ч.С., Фейзуллаев А.А., Багирли Р.Дж., Махмудова Ф.Ф. Закономерности распределения радона в Азербайджане и контролирующие их факторы // Научно-технический журнал Евро-Азийское геофизическое общество. Геофизика 1.2017. Москва, 2017. стр. 72-77

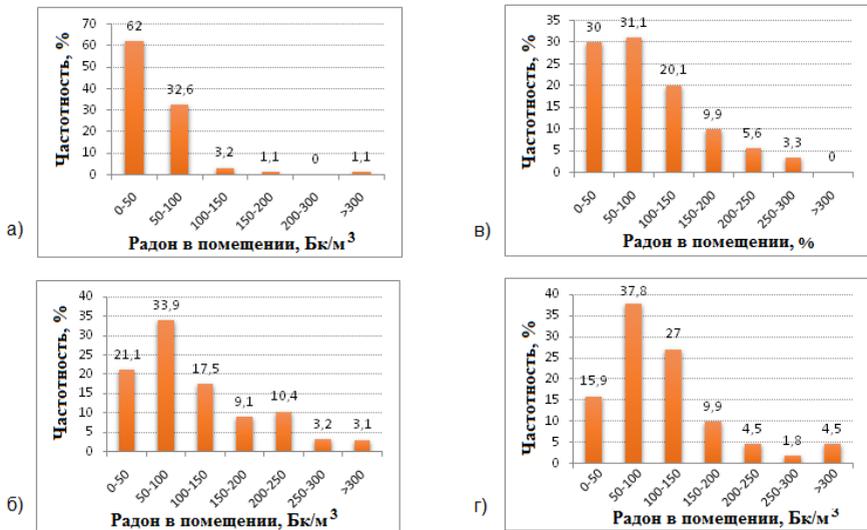


Рис. 7. Гистограммы распространения средних значений объемной активности радона в помещениях в зависимости от геоморфологических особенностей территории Азербайджана: а) Куринская низменность; б) Большой Кавказ; в) Малый Кавказ; г) Талыш

При изучении влияния строительных материалов на объемную активность радона в воздухе жилых и общественных зданий было исследовано более 2400 жилых строений. Относительно высокая концентрация объемной активности радона наблюдалась в домах, построенных из природного и тёсаного камня. Скорость эксхалляции радона из строительных материалов зависит от произведения удельной активности радия на коэффициент эманирования радона (эффективной удельной активности радия), а также от длины диффузии радона в строительных материалах⁸.

Сопоставление концентрации объемной активности радона в помещениях, расположенных на различных этажах, показало, что, чем выше этаж, тем ниже концентрация объемной активности ра-

⁸ Крампит И.А. Об измерениях коэффициента эманирования грунтов // АНРИ 2004 №3. стр. 51-52

дона. Наиболее высокие концентрации объемной активности радона характерны для первых двух этажей исследованных домов.

В четвертой главе рассматривается второе защищаемое положение и приводятся характерные результаты корреляционного анализа между показателями заболеваемости населения злокачественными образованиями легких и распределением объемной активности радона.

На основании результатов масштабных исследований повышенное содержание радона и продуктов его распада в воздухе жилых домов было отнесено экспертами международного агентства по изучению рака к первой группе канцерогенных веществ. Основную опасность для живых организмов представляет не столько сам радон из-за его относительно небольшого периода полураспада (3,825 суток), сколько его дочерние продукты распада, которые сорбируются пылью и влагой, образуя α - радиоактивные аэрозольные частицы. Наиболее опасны аэрозоли субмикронных размеров, которые могут проникать в верхние дыхательные пути и оседать в них, создавая локальные источники α -облучения клеток.

В США, по существующим нормативам, предельно допустимые выбросы загрязняющих атмосферу веществ не должны увеличивать смертность населения более чем на 0,001 %. Но расчеты показывают, что радоновое облучение вызывает 20 тыс. дополнительных случаев смерти от рака легкого ежегодно, превышая допустимый нормативами рост смертности в 300 раз. Существенно повышается по той же причине риск нераковых заболеваний дыхательных путей, например, эмфиземы легкого и сердечно-сосудистых заболеваний.

По данным Министерства здравоохранения Азербайджанской Республики количество заболевших мужчин в 8 раз больше, чем женщин. По мнению специалистов, главной причиной болезней органов дыхания является курение. Специалисты по радиационной экологии утверждают, что радоновое аэрозольные частицы сорбируют радионуклиды и транспортируют их в бронхи и легкие. В результате резко повышается локальный

уровень облучения клеток.

Полученные результаты показывают, что злокачественным образованиям органов дыхания подвержены люди зрелого возраста. Радон негативно влияет на здоровье человека за счет аккумулятивного эффекта, выражающегося в постепенном накоплении повреждений радиационного характера.

Выявлено, что заболеваемость со злокачественными новообразованиями особенно высока в пределах горно-складчатой зоны Большого и Малого Кавказа и Талыша, где зафиксированы повышенные значения объемной активности радона. Наиболее высокие показатели заболеваемости со злокачественными новообразованиями органов дыхания зафиксированы в опасных и умеренно опасных зонах радонового облучения.

Коэффициенты корреляции за 2012-2015 гг. указывают на достаточно высокую причинную связь между радоноактивностью местности и количеством больных со злокачественными новообразованиями легких.

Также для проведения анализа зависимости между развитием злокачественных новообразований легких и проживанием населения в радоноопасных зонах определены показатели относительного риска (таблица 1). При этом показатель относительного риска позволил оценить, во сколько раз проживание в условиях радоноопасных зон увеличивало вероятность заболеть злокачественными новообразованиями легких.

Для расчета показателя относительного риска (RR) каждого из наблюдаемых лиц относили к одной из четырех категорий:

- а) больные злокачественными новообразованиями легких из радоноопасных зон, выявленные за период 2005-2015 гг.;
- б) больные злокачественными новообразованиями легких из нерадоноопасных зон, выявленные за период 2005-2015 гг.;
- с) лица, без выявленных злокачественных новообразований из радоноопасных зон за период 2005-2015 гг.;
- д) лица, без выявленных злокачественных новообразований из нерадоноопасных зон за период 2005-2015 гг..

Таблица 1

Распределение больных со злокачественными новообразованиями легких и прочих лиц в зависимости от проживания в радоно- и нерадоноопасных зонах

Наличие или отсутствие злокачественных новообразований легких (ЗНОЛ)	Группы		Всего	RR	p
	Основная	Контрольная			
Количество больных с ЗНОЛ	716	323	1039	1,915 (ДИ 2,183-1,679)	<0,05
Количество лиц без ЗНОЛ	575 634	497 477	1 073 711		
Итого	576 350	497 800	1 074 150		

Показатель относительного риска (RR), рассчитанный с учетом данных таблицы 1, составил $RR=1,915$ (ДИ 2,183-1,679), $p<0,05$. Таким образом, с вероятностью 95% можно утверждать, что имеется значительно выраженная и статистически достоверная связь между развитием злокачественных новообразований легких и проживанием в условиях радоноопасных зон Азербайджана.

Полученные результаты являются подтверждением роли радона как доминантного фактора обуславливающего высокий риск заболевания раком легких, что необходимо учитывать при разработке и реализации соответствующих превентивных социально-оздоровительных мер, строительных нормативов для определенных регионов Азербайджана с высоким уровнем природного радонового излучения.

В пятой главе приводится информация о мерах профилактики, которые необходимо применять с целью предотвращения возможного радонового накопления в жилых помещениях и даются рекомендации по снижению радоноопасности. В настоящее время существует ряд способов противорадоновой защиты

в жилых зданиях, с повышенными концентрациями объемной активности радона. Снижение объемной активности радона в воздухе помещений может быть достигнуто за счет следующих технических решений:

- подбор участка для строительства на территории с минимальным выходом природного радона из почвы;
- применение различных конструктивных решений, препятствующих проникновению радона из почвы в здание;
- принудительная и естественная вентиляция с целью удаления радона из воздуха помещений.

Первый и второй варианты применяются на стадии проектирования и строительства сооружений на территориях с повышенными эманациями радона из почв. Для строящихся домов, еще на стадии проектирования должен быть осуществлен комплексный эколого-геофизический контроль, включающий изучение естественного радиационного фона, выявление активных тектонических зон, распределение объемной активности радона при выборе площадок для строительства жилых и производственных зданий.

Поскольку характер регионального поля радона Азербайджана установлен по ограниченному числу жилых объектов, то для выявления более реальной картины необходимы детальные работы в аномальных зонах с целью замеров радона в жилых объектах, ранее не охваченных этими исследованиями. Рекомендуется проведение комплексных работ, включающих выборочное медицинское обследование людей, длительное время проживающих в домах с аномальными концентрациями радона.

ВЫВОДЫ

Обобщение результатов проведенных исследований позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Выявлено, что региональные изменения объемной активности радона обусловлены геологическими особенностями строения региона: повышенные значения концентрации радона характерны для горно-складчатых областей Большого и Малого

Кавказа, Талыша, сложенных породами мезокайнозойского возраста, а сравнительно низкие значения объемной активности радона приурочены к Куринской и Прикаспийско-Кубинской депрессионным зонам, представленных на поверхности земли современными осадками;

2. На основе выполненных исследований территория Азербайджана была разделена на 4 зоны по степени радоноопасности (объемной активности радона внутри помещений): опасная (200-400 Бк/м³), умеренно опасная (100-200 Бк/м³), условно безопасная (50-100 Бк/м³) и безопасная (<50 Бк/м³);
3. На основе корреляционного анализа связи между объемной активностью радона внутри помещений и в окружающей геологической среде выявлено, что повышенные значения объемной активности радона на территории Азербайджана имеют естественную природу;
4. Установлена зависимость, указывающая на связь между средними значениями объемной активности радона и этажом здания и выявлено, что в многоэтажных домах объемная активность радона на первом этаже значительно выше, чем на верхних этажах;
5. На основе полученных результатов выявлены строительные материалы, имеющие наибольший вклад в радоновое излучение при строительстве жилых и производственных зданий;
6. Выявлено, что заболеваемость со злокачественными новообразованиями особенно высока в пределах горно-складчатой зоны Большого и Малого Кавказа и Талыша, где зафиксированы повышенные значения объемной активности радона. Наиболее высокие показатели заболеваемости со злокачественными новообразованиями органов дыхания зафиксированы в опасных и умеренно опасных зонах радонового облучения;
7. На основе корреляционного анализа установлена высокая степень зависимости показателя количества больных злокачественными новообразованиями легких от уровня объемной активности радона для различных регионов. Коэффициенты

корреляции за 2012-2015 гг. указывают на достаточно высокую причинную связь между радоноактивностью местности и количеством больных со злокачественными новообразованиями легких;

8. Определены показатели относительного риска заболеваемости злокачественными новообразованиями легких в условиях радоноопасных зон Азербайджана. Показатели относительного риска свидетельствуют о наличии прямой связи между развитием злокачественных новообразований легких и проживанием в условиях радоноопасных зон Азербайджана;
9. Предложены меры предотвращения возможного накопления радона в жилых помещениях, даны соответствующие рекомендации по снижению радоноопасности, определен комплекс дополнительных исследований и мероприятий, необходимых для снижения опасности радонового облучения населения.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах (статьи и расширенные тезисы конференций и семинаров)

1. Veliyeva F.F. The Radon problem in Azerbaijan. The 4th International Scientific Conference of young Scientists and Students "Earth Sciences new Approaches and achievements". Abstracts. Baku, 5-6 October 2011. pp. 161-162.
2. Aliyev Ch.S., Feyzullayev A.A., Valsangiacomo C., Hofmann M., Baghirli R.J., Veliyeva F.F. Radon problem in Azerbaijan: Results of indoor measurements and its nature / The modern problems of Geology and geophysics of Eastern Caucasus and the South Caspian depression. 34th International Geological Congress. Brisbane, Australia. Special Issue papers. Baku, 2012. pp. 27-34.
3. Veliyeva F.F., Aliyev Ch.S., Feyzullayev A.A., Baghirli R.J., Pampuri L., Hoffmann M., Valsangiacomo C. Indoor Radon Mapping in Azerbaijan / 11th International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. Czech Geological Survey. Prague, 2012. pp. 260-268.

4. Алиев Ч.С., Фейзуллаев А.А, Багирли Р.Дж., Велиева Ф.Ф. Факторы, контролирующие уровень объемной активности радона в Азербайджане // АМЕА Хəбərlər Yer elmləri, №1. Bakı, 2012. стр.42-48.
5. Aliyev Ch.S., Baghirli R.J., Aliyeva A.R., Veliyeva F.F. Influence of geodynamic conditions on formation of a field of radon in Azerbaijan. Integrated Approach for Unlocking Hydrocarbon Resources. 3-5 October, 2012. Baku. Azerbaijan. pp.99.
6. Алиев Ч.С., Алиева А.Р., Велиева Ф.Ф. Оценка уровня радоновой радиации в Азербайджане и изучение его влияния на здоровье человека. Проблемы снижения природных опасностей и рисков / материалы Международной научно-практической конференции “ГЕОРИСК-2012”: В 2-х т. Т.2 - М.: РУДН. 2012. стр. 214-219.
7. Алиев Ч.С., Фейзуллаев А.А., Багирли Р.Дж., Велиева Ф.Ф., Алиева А.Р. Проблема радона: геодинамические и экологические аспекты. Geology Institute of ANAS Republican Seismic Survey Center of ANAS. Seismoforecasting researches carried out in the Azerbaijan territory. 7-12 October, 2012. Baku. Azerbaijan. стр. 97-106.
8. Aliyev Ch.S., Baghirli R.J., Aliyeva A.R., Veliyeva F.F. Studying of the radon risk in Azerbaijan. The International Conference “Perspectives of peaceful use of nuclear energy”. November 21-23, 2012. Baku. Azerbaijan. pp. 96.
9. Алиев Ч.С., Махмудова Ф.Ф. О роли радона в формировании радиоэкологической среды Абшеронского полуострова // Azərbaycanca Geofizika yenilikləri, 1-2. Bakı, 2013. стр.30-33.
10. Алиев Ч.С., Махмудова Ф.Ф. Медицинская геология // Актуальные вопросы прикладной геологии. Сборник статей.-Баку, Издательство “Nafta-Press”,2013. стр. 115-141.
11. Mahmudova F.F. Formation of Radon anomalies in the territory of Azerbaijan and their pathogenicity. 5th International Scientific Conference of young Scientists and students “Fundamental and Applied Geological Science: Achievements, Prospects, Problems and ways of their solutions”. 14-15 November 2013. Baku/

- Azerbaijan. 3. pp.194-196.
12. Aliyev Ch.S., Feyzullayev A.A., Valsangiacomo C., Baghirli R.J., Hoffmann M., Mahmudova F.F. The Prospects of Solving of the Radon Problem in Azerbaijan / 12th International Workshop on the Geological Aspects of radon Risk Mapping. Proceedings. Czech geological Survey. Prague, 2014. pp.7-10.
 13. Фейзуллаев А.А., Алиев Ч.С., Бонини М., Васелли О., Багирли Р.Дж., Махмудова Ф.Ф. Экологическая оценка уровня концентрации радона в термальных водах Талыша (Азербайджан) // Вода и экология проблемы и решения, №4/2014, Санкт-Петербург. стр.69-80.
 14. Алиев Ч.С., Фейзуллаев А.А., Махмудова Ф.Ф., Багирли Р.Дж. Апробация метода снижения радоноопасности в жилых помещениях (на примере Шамахинского района Азербайджана) // Azərbaycanda Geofizika yenilikləri, 3-4. Bakı, 2014. стр.14-17.
 15. Aliyev Ch.S., Feyzullayev A.A., Bagırlı R.J., Mahmudova F.F. Indoor and outdoor radon levels in Azerbaijan. 2nd International Conference "Radon in the Environment 2015, Krakow, Poland. pp.61.
 16. Aliyev Ch.S., Aliyeva A.R., Mahmudova F.F. Influence of Radon on the Formation of Radio-Ecological Environment of Absheron Peninsula. 3rd International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research, 2015, Budva, Montenegro. pp.582.
 17. Фейзуллаев А.А., Алиев Ч.С., Багирли Р.Дж., Махмудова Ф.Ф. Экологическая оценка уровня концентрации радона в термальных водах Талыша (Азербайджан) // АМЕА Хəбərlər Yeri elmləri, №1-2. Bakı, 2015. стр.79-85.
 18. Hoffmann M., Aliyev Ch.S., Feyzullayev A.A., Baghirli R.J., Veliyeva F.F., Pampuri L., Valsangiacomo C., Tollefsen T., Cinnelli G. First map Residential Indoor Radon Measurements in Azerbaijan // Radiation Protection Dosimetry, 2016. pp.1-8.
 19. Aliyev Ch.S., Feyzullayev A.A., Bagırlı R.J., Mahmudova F.F. Studying of the Geological Factors controlling the Distribution of Radon on the territory of Azerbaijan // Coğrafiya və təbii resurs-

- lar, №2. Bakı, 2016 (4). pp.11-17.
20. Aliyev Ch.S., Feyzullayev A.A., Baghırlı R.J., Mahmudova F.F. Creation of radon cadastre and radon distribution map within the territory of Azerbaijan // AMEA-nın xəbərləri Yer elmləri, №3-4. Bakı, 2016. pp.93-95.
 21. Алиев Ч.С., Фейзуллаев А.А., Багирли Р.Дж., Махмудова Ф.Ф. Распределения радона в зданиях и геологической среде на территории Азербайджана // ГеоРиск 4, Москва, 2016. стр. 32-41.
 22. Алиев Ч.С., Фейзуллаев А.А., Багирли Р.Дж., Махмудова Ф.Ф. Закономерности распределения радона в Азербайджане и контролирующие их факторы // Научно-технический журнал Евро-Азийское геофизическое общество. Геофизика 1.2017. Москва, 2017. стр.72-77.
 23. Алиев Ч.С., Фейзуллаев А.А., Багирли Р.Дж., Махмудова Ф.Ф. Закономерности распределения радона на южном склоне Большого Кавказа (азербайджанская часть) // Azərbaycanda Geofizika yenilikləri, 1-2. Bakı, 2017. стр. 6-11.
 24. Aliyev Ch.S., Feyzullayev A.A., Baghırlı R.J., Mahmudova F.F. The estimation of radon concentration in dwellings and geological environment on the territory of Azerbaijan. RAD 2017, Fifth International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research, Budva, Montenegro. pp. 444.
 25. Алиев Ч.С., Фейзуллаев А.А., Багирли Р.Дж., Махмудова Ф.Ф. Результаты измерения объемной активности радона в Азербайджане // Геофизические процессы и биосфера. 2017. Т.16, №3. стр. 43-54.
 26. Feyzullayev Ə.Ə., Əliyev Ç.S., Mahmudova F.F., Bağırılı R.C. Radon və insan sağlamlığı. Elmi-populyar broşürə. 2017, Bakı, Nafta-Press. 40 s.
 27. Махмудова Ф.Ф. Сравнительный анализ легочных заболеваний и уровня содержания радона в Азербайджане // AMEA-nın Xəbərləri. Yer Elmləri seriyası. Bakı, №1-2, 2018. стр. 78-80.
 28. Aliyev Ch.S., Feyzullayev A.A., Baghırlı R.J., Mahmudova F.F. Results of measurements of Radon Volume Activity in Azerbaijan // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 2018, Vol.54, No.7. pp. 654-660.

29. Алиев Ч.С., Махмудова Ф.Ф. Оценка радоноопасности в жилых и общественных помещениях в различных регионах Азербайджана // Вестник МАНЭБ. Санкт-Петербург, Том 24 №1, 2019. стр. 46-49.
30. Махмудова Ф.Ф. Оценка риска для здоровья населения Азербайджана от радонового загрязнения жилых помещений // Молодой Ученый. №32 (270). стр. 10-11.
31. Aliyev Ch.S., Mahmudova F.F. Distribution of Indoor Radon Levels in Azerbaijan and its Potential Health Effects. The 8th International Conference on Medical Geology. August 12-15th, 2019. Guiyang, China. pp. 161.

Личный вклад соискателя

Работы [1, 11, 27, 30] выполнены самостоятельно, в работах [2-10, 12-26, 28-31] участие в постановке задачи, проведении лабораторных исследований и обобщении результатов.



Защита диссертации состоится 29 Июня 2021-го года
в 14⁰⁰ на заседании Разового Диссертационного совета
VED 1.01, действующего на базе Института Геологии и Геофизи-
ки Национальной Академии Наук Азербайджана.

Адрес: AZ 1143, Азербайджан, г.Баку, пр. Г.Джавида 119.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
Геологии и Геофизики Национальной Академии Наук Азербай-
джана.

Электронная версия диссертации и автореферата размещена на
официальном сайте Института Геологии и Геофизики Нацио-
нальной Академии Наук Азербайджана.

Автореферат разослан
по соответствующим адресам 24 Мая 2021-го г.

Подписано в печать: 25.05.2021

Формат бумаги: 60x84^{1/16}

Объем: 36544

Тираж: 70 штук