

СТАТЬИ

УДК 550.81

DOI 10.17513/use.38189

**ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ЭСХАЛЯЦИЮ РАДОНА В ГРУНТАХ
НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАНИ И ЕЕ ОКРЕСТНОСТЕЙ**¹Апкин Р.Н., ²Сонин Г.В.¹ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань,
*e-mail: renat.apkin@gmail.com;*²ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
e-mail: gennadij.sonin@ksu.ru

Радиационные и геохимические исследования в области оценки объема и уровня эсхалации природных газов на территории Татарстана обычно фокусируются на поиске залежей нефти, оставляя в стороне экологические проблемы, такие как объем выхода опасного газа радона. Данное исследование направлено на изучение факторов, управляющих динамикой радона, уровнем его фонового значения. Геолого-геоморфологические компоненты природы Татарстана серьезно влияют на «поведение» и последующий выход радона на поверхность. Проведенное исследование позволит расширить знания о взаимосвязи геологической структуры, геоморфологии и функционирования радона с целью выявления особенностей его залегания на территории Казани и прилегающих территорий. Измерения включили 33 точки, приуроченные к двум разным, специально выделенным областям в зависимости от различной проницаемости грунтов. Параметры, фиксирующие уровень и объем радона, различаются на этих двух территориях, а в некоторых случаях наблюдались отклонения от общей картины в результате радикального антропогенного вмешательства. Данное исследование позволяет упрочить теоретические основы в области экологической оценки влияния радона на жизнь и здоровье населения, а также глубже понять практическую роль этого влияния в плане норм обеспечения безопасного радиационного уровня при выборе участков территорий под строительство зданий жилого, общественного и промышленного назначения.

Ключевые слова: эсхалация радона, геолого-геоморфологические условия, территория Казани, радиометр RTM 1688-2 GeoStation, антропогенное влияние, распределение уровня радона

**INFLUENCE OF GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL FACTORS
FOR RADON ESCHALATION IN SOILS IN THE TERRITORY
OF KAZAN AND ITS SURROUNDING**¹Apkin R.N., ²Sonin G.V.¹Kazan State Power Engineering University, *e-mail: renat.apkin@gmail.com;*²Kazan (Volga) Federal University, *e-mail: gennadij.sonin@ksu.ru*

Radiation and geochemical studies in the field of assessing the volume and level of exhalation of natural gases in the territory of Tatarstan usually focus on the search for oil deposits, leaving aside environmental problems, such as the volume of release of dangerous radon gas. This study is aimed at studying the factors that control the dynamics of radon and the level of its background value. Geological and geomorphological components of the nature of Tatarstan seriously influence the “behavior” and subsequent release of radon to the surface. Our research will expand knowledge about the relationship between the geological structure, geomorphology and functioning of radon in order to identify the features of its occurrence in the territory of the capital of the republic, the city of Kazan and adjacent territories. The measurements included 33 points, confined to two different, specially designated areas depending on different soil permeability. The parameters recording the level and volume of radon differ in these two territories, and in some cases deviations from the general picture were observed as a result of radical anthropogenic intervention. This study makes it possible to strengthen the theoretical foundations in the field of environmental assessment of the impact of radon on the life and health of the population, as well as to better understand the practical role of this impact in terms of standards for ensuring safe radiation levels when selecting areas for the construction of all types of buildings.

Keywords: radon exhalation, geological and geomorphological conditions, territory of Kazan, RTM 1688-2 GeoStation radiometer, anthropogenic influence, radon level distribution

Со времен геохимических и радиогенных исследований акад. В.И. Вернадского геологи занимаются вопросами дегазации планеты Земля [1]. На территории Татарстана газовыми съемками интересовались нефтяники, как одним из перспективных методов поиска нефти по метановому «дыханию» ее залежей. Предполагалось, что существующие метановые «шапочки» над

залежами содержат некоторое количество вездесущего и всепроникающего газа водорода, а также радиогенных гелия и радона, инертного азота и других газов. Радон как эманация, или продукт распада радия, действительно обнаруживался во многих случаях, и теперь, в связи с активизацией строительства подземных сооружений – например, метро, подземных переходов, торговых

точек и выбора мест для безопасных зон рекреации и отдыха – объемом выхода радона заинтересовались экологи.

Нормы и правила обеспечения безопасного радиационного уровня при выборе участков территорий под строительство зданий жилого, общественного и промышленного назначения подробно изложены в нормативных документах [2].

Цель исследования – изучение факторов, влияющих на уровень фонового значения радона. Среди них основными являются факторы, связанные с геологическим строением территорий.

Материалы и методы исследования

Создание метода поиска нефти с помощью газовых съемок, однако, не получило широкой поддержки, поскольку оконтуривание залежей не было достаточно четким – газовая аномалия получалась размытой. Сейсмический метод, как оказалось, дает четкие ограничения структурных поднятий и обеспечивает более надежный прогноз размещения поисковых скважин. Стало понятным, что размытость контуров аномалий создает диффузия газов через трещиноватые и пористые среды в горных породах. Для наших исследований такая информация служит указанием на плавность переходов и отсутствие контрастов в пограничных зонах между коренными и четвертичными породами на поверхности рельефа. На четкость контуров аномалий большое влияние оказывает распределение непроницаемых пород (флюидоупоров) и характер залегания водопроницаемых и водонасыщенных пластов по всему разрезу пород осадочного чехла. К флюидоупорам чаще

всего относятся глины, аргиллиты, соляные и гипсоносные толщи, а хорошо проницаемы для газов и жидкостей пески, песчаники, кавернозные и рифогенные известняки и разбитые сетью трещин другие плотные породы метаморфического и даже магматического происхождения [3].

В приповерхностной зоне республики Татарстан в окрестностях г. Казани наблюдается широкое развитие карстовых процессов 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. Проследить расположение переуглубленных палеорусел по всему разрезу без доступа к данным радиоактивного и теплового каротажа по многим скважинам на сейсмических профилях в настоящее время не представляется возможным по причине закрытости соответствующих материалов. Поэтому при анализе получаемых замеров активности выхода радона для экологических целей приходится ограничиться опубликованными данными, существующими в геологической и гидрогеологической литературе и наличием структурными картами нефтепоисковых организаций [4–6]. Использование этих данных во многих случаях позволяет получить удовлетворительное объяснение распределения значений выходов радона на контрольных точках, которые представлены на фрагменте космического снимка Google Earth Pro (рис. 1).

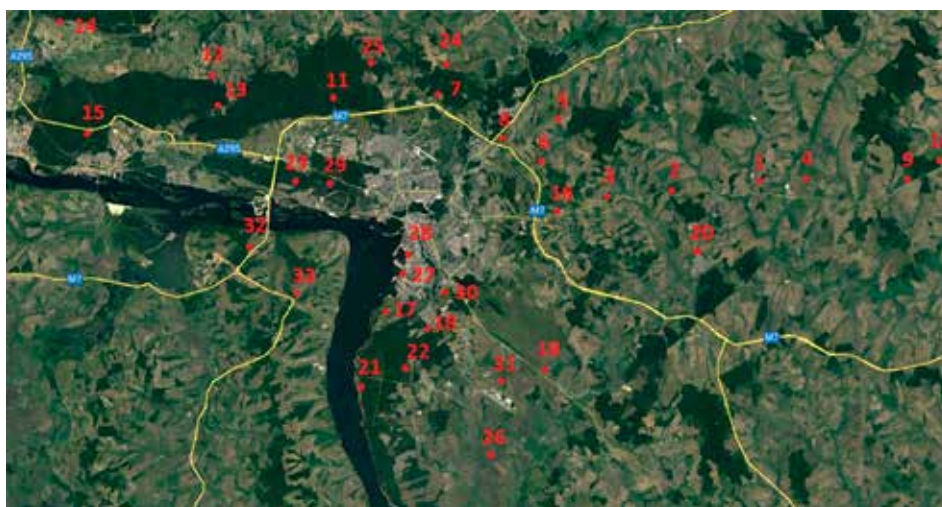


Рис. 1. Точки замеров на территории г. Казани и Приказанья

Измерения проводились радиометром RTM 1688-2 GeoStation производства немецкой фирмы «SARAD» GmbH (рис. 2). Этот прибор был разработан на основе прибора RTM-1688. Для измерения почвенного газа вместо внутренней измерительной камеры стандартного прибора используется отдельно подключаемый зонд. Корпус зонда выполнен из высококачественной стали; диаметр его составляет 80 мм. Наряду с измерительной камерой радона в устройство интегрированы сенсоры температуры и влажности. Малое время отклика, при резком изменении концентрации газа, достигается наличием большой силиконово-диффузионной мембраны. Зонд подключается через кабель длиной до 10 м к аналоговому

датчику радона. Этот датчик рассчитывает текущую концентрацию радона и вырабатывает на выходе аналоговый сигнал. При проведении полевых работ значения объемной активности радона на выбранных точках были получены с помощью зонда на глубине 0,5 м [7].

Результаты исследования и их обсуждение

В 2023 г. проведены исследования на 33 контрольных точках. Полученные значения объемной активности радона, температуры, влажности и атмосферного давления, а также возрасты пород, на которых расположены контрольные точки, отражены в таблице.

Данные измерений на контрольных точках

№	Объемная активность радона, Бк/м ³	Температура грунта, °С	Влажность грунта, %	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Возраст пород: палеозой (Pz), кайнозой (Kz)
1	18261	16	77	734	Pz
2	31594	5	79	741	Pz
3	27047	9	84	748	Pz
4	10964	11	71	747	Pz
5	20141	9	82	739	Pz
6	15151	10	78	754	Pz
7	10476	8	88	757	Kz
8	19670	9	81	761	Pz
9	17141	9	76	755	Pz
10	15946	10	73	746	Pz
11	2112	9	87	749	Kz
12	25717	11	83	755	Pz
13	1899	10	89	757	Kz
14	7928	11	87	757	Kz
15	10778	14	87	746	Kz
16	36294	17	87	734	Pz
17	18586	15	86	744	Kz
18	8164	15	88	746	Kz
19	11493	15	85	744	Kz
20	10603	17	87	744	Pz
21	6857	15	88	750	Kz
22	4008	17	87	744	Kz
23	5569	14	90	751	Kz
24	38288	15	88	745	Pz
25	17929	14	88	747	Pz
26	9974	16	86	755	Kz
27	18568	17	84	754	Kz
28	5994	20	86	753	Kz
29	3283	17	95	760	Kz
30	5706	13	86	761	Kz
31	7928	4	89	758	Kz
32	12307	4	96	737	Pz

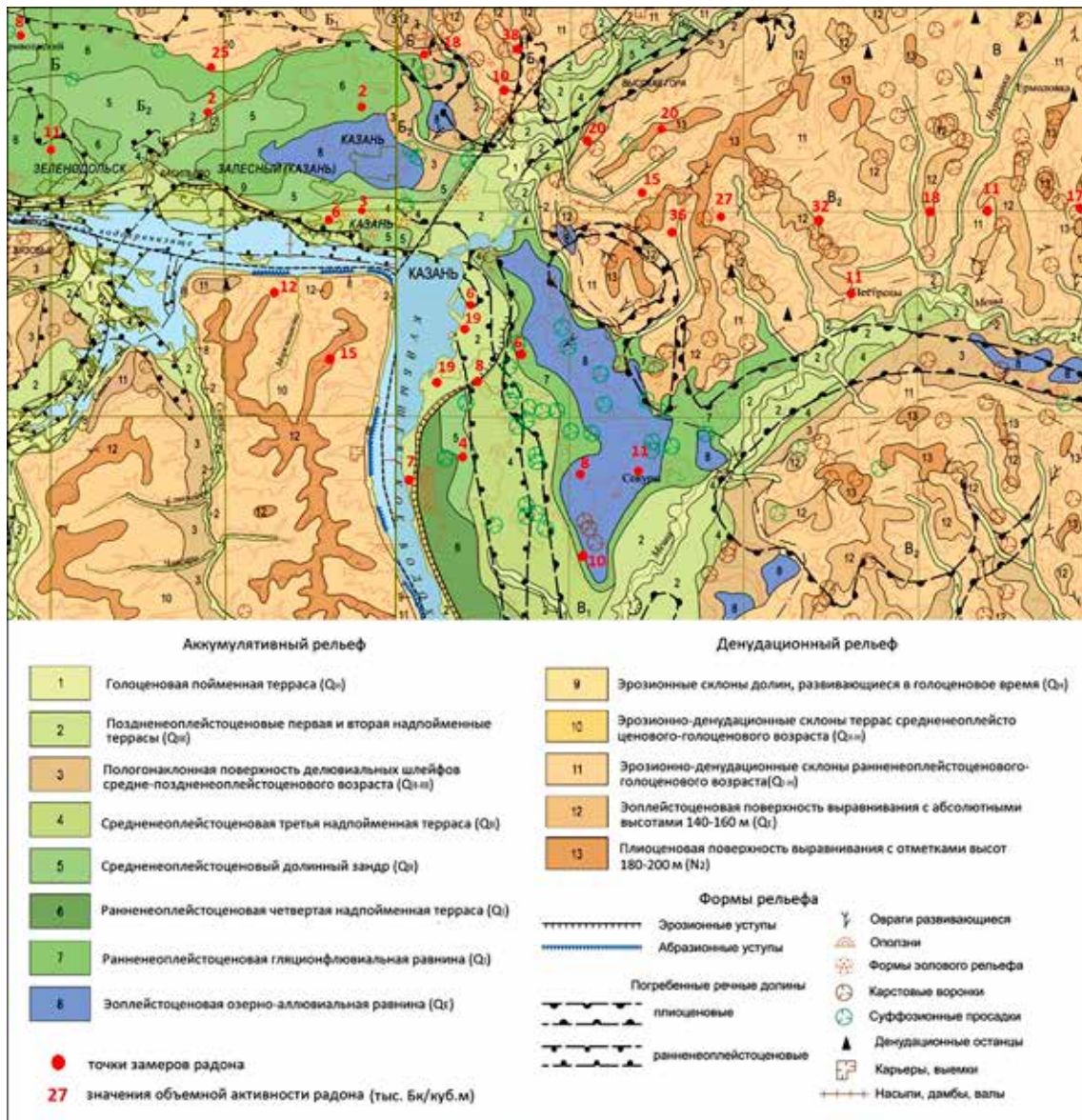


Рис. 2. Значения объемной активности радона в грунтах различного происхождения

Для обработки количественных данных использовались возможности программы Excel, для картографического анализа послужили имеющиеся карты четвертичных отложений, структурные карты поверхности дочетвертичных отложений и геоморфологические карты государственной геологической съемки [8].

Ниже представлена геоморфологическая карта со значениями объемной активности радона в грунтах различного происхождения (рис. 2).

На предлагаемой карте выделяются два поля точек, приуроченных к участкам с различным геологическим строением окрестностей Казани.

1. Поле неглубокого, поверхностного залегания карбонатных и глинистых пород палеозоя с тонким чехлом делювиальных отложений и присущим им почвенно-растительным покровом. На карте они попадают на формы денудационного рельефа.

2. Поле песчано-гравийных аллювиальных отложений кайнозоя вдоль долины Волги с мощным чехлом суглинков и песков и разнообразным по составу почвенно-растительным слоем. На карте они попадают на формы преимущественно аккумулятивного рельефа.

Гистограммы распределения значений довольно четко различают оба выделенных поля (рис. 3).

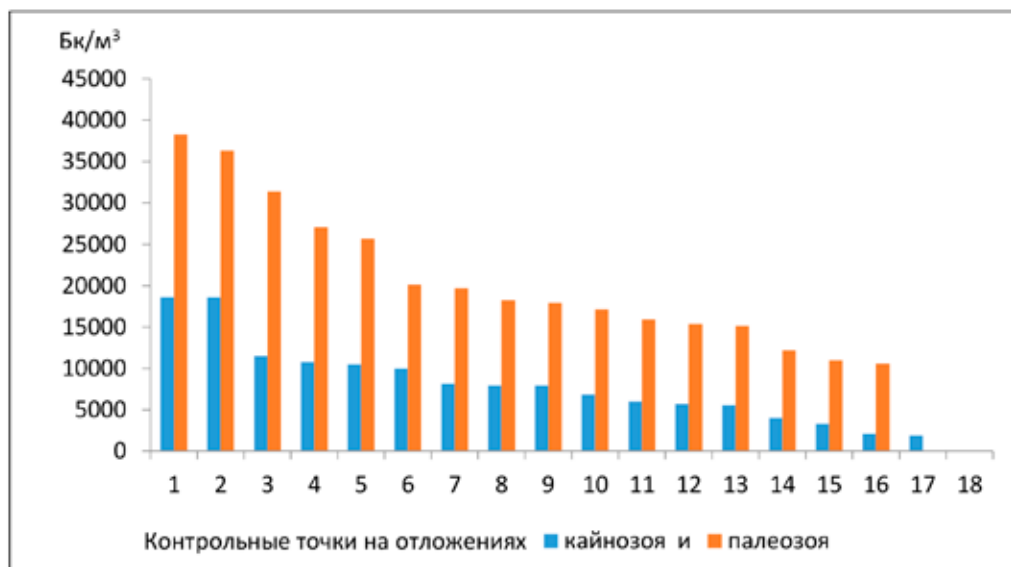


Рис. 3. Распределение объемной активности радона на отложениях кайнозоя и палеозоя

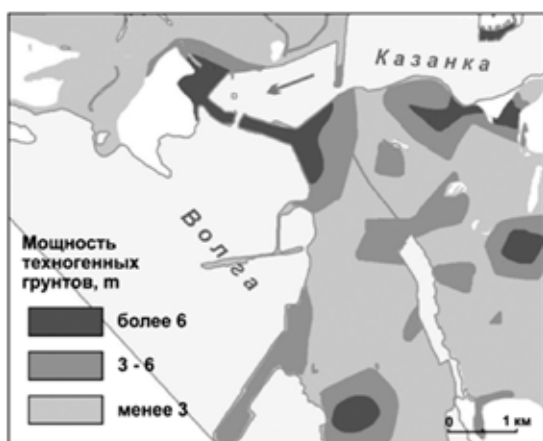


Рис. 4. Мощность техногенных грунтов на территории Казани [9]

Две контрольные точки, приуроченные к левобережью р. Волги ниже по течению, южнее Казани под номерами 17 и 27 (рис. 1), выпадают из общей картины выделенного авторами поля аллювиальных отложений, значения их составляют около 19 тыс. Бк/м³ (рис. 3).

Во многих случаях подобные квазианомальные точки в поле однородных геологических условий обнаруживают взаимосвязь с антропогенным фактором: недавним техногенным воздействием на почвенно-грунтовые условия, особенно в окрестностях города Казани (рис. 4).

При создании Куйбышевского водохранилища на р. Волга в 1950-х гг. в окрестностях г. Казани предусматривалось полное

затопление территории пойменной и подтопление высокой надпойменной террасы р. Волги и Казанки. Для сохранения некоторых пастбищно-кормовых угодий и предохранения некоторых подтопленных участков города были приняты особые меры: создание заградительных насыпных и бетонных дамб и проведение параллельно им водосборных и отводных каналов вокруг города для аккумуляции весенне-паводковых вод и вод, фильтрующихся через грунт из самого Куйбышевского водохранилища при высоком стоянии его уровня. Было создано несколько водосборных бассейнов и водоотливных станций для понижения уровня и перекачки избыточных вод через водозаградительные дамбы обратно в р. Волгу. В дополнение к этому были произведены площадные подсыпки грунтов для подъема уровня некоторых территорий города. Для этого использовались отходы (зола от угольного и мазутного топлива) нескольких ТЭЦ г. Казани, которые складировались раньше в виде терриконов или засыпались в старичные озера и болота вокруг города. Чтобы легкие фракции золы летом не раздувались ветром, зольные слои засыпались толстым слоем (от 2 м и более) речного песка, взятого земснарядами из русла Волги и из ее террас. Таких территорий много в Московском, Ново-Савиновском и Кировском районах города [9]. Слежавшаяся за многие годы зола ТЭЦ с обильным содержанием стеклянных осколков от нагара нагнетательных форсунок печей ТЭЦ превратилась в черные

плотные слои, покрывающие первичный природный почвенно-растительный слой и почвенный мелкозем вместе с элювием и делювием коренных пород. Они сильно изменили первичную картину распределения существующих потоков выхода радона.

Выравнивание поверхности рельефа при этих мероприятиях привело к тому, что насыщенные грунты имеют теперь очень неравномерную мощность, что сильно влияет на их водо- и газопроницаемость. Это и порождает пестроту значений выходов радона на поверхность и не должно восприниматься как ошибочные измерения, а также пестрота (контрастность) значений на соседних точках и разброс показаний

связаны со свойствами самого грунта и его способностью уплотняться до первичного состояния.

В предлагаемом анализе получаемых данных трещины тектонического происхождения представляют для наших исследований наибольший интерес, поскольку имеют глубокое заложение и почти вертикальные углы падения при достаточно хорошей раскрытости (т.е. ширине) и густоте их расположения в различных участках местности. Само расположение трещинных деформаций над антиклинальными структурами или рядом с линиями глубинных разломов также оказывало влияние на распределение трещин во всей толще палеозоя Татарстана.

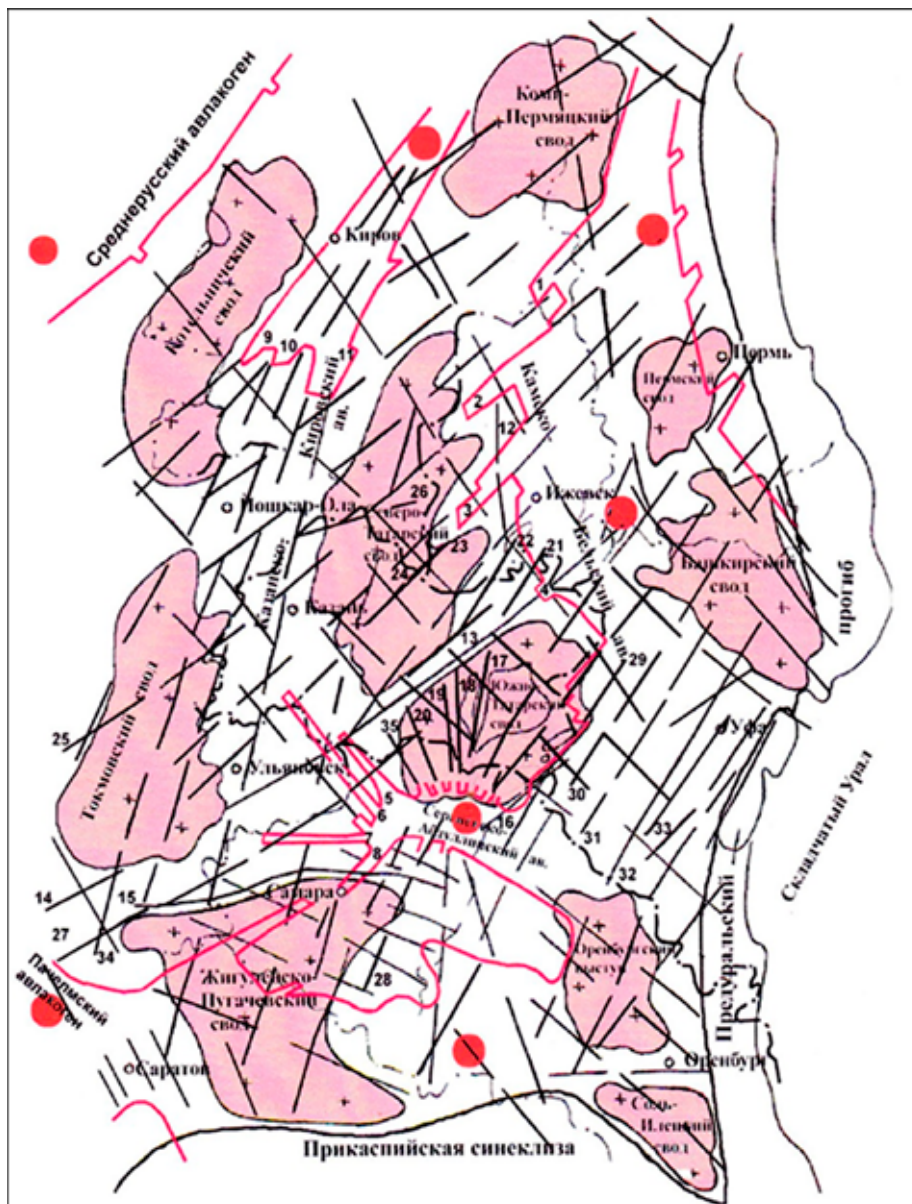


Рис. 5. Тектоническая схема Волжско-Камской антеклизы [10]

Город Казань, как известно, расположен над относительно узким Казанско-Кировским прогибом между двух выступов кристаллического фундамента – Токмовским сводом и северным куполом Татарского свода, ограниченных глубинными разломами. Они имеют глубокое заложение и, как авторы предполагают, обеспечивают пути миграции радона из первичных зон его генерации среди гранитоидных интрузий в фундаменте и в авлакогенах (глубоких впадинах) фундамента Волго-Камской антеклизы и на Татарском своде [6, 10].

При анализе использовались также некоторые данные по распределению сейсмически установленных зон разуплотнения пород, известных в Татарстане как зоны малых скоростей, приуроченных к закарстованным толщам гипсов и ангидритов сакмарского яруса перми. Эти зоны с их пустотами и скрытыми пещерами, несомненно, влияют на горизонтальную миграцию скоплений радона.

В верхних частях кайнозойского разреза вдоль долины Волги на выходы радона основное воздействие оказывают литологические разности пород обломочных отложений. Грубые и разнородные пески и гравийно-галечные скопления, слагающие террасы, обычно выступают как хорошие проводники, тогда как глинистые отложения древнего старичного аллювия среди этих отложений могут играть роль местных экранов и препятствий для продвижения глубинных потоков газа вдоль палеорусел и видимых в рельефе врезов Волги (майтугах) и ее притоков [11].

Заключение

Трещиноватость пород обуславливает проницаемость верхней части осадочного чехла, и, хотя в четвертичных рыхлых породах на склонах рельефа трещины открыто не проявляются, исследования обнаруживают, что выходы глубинных газов над ними легче осуществляются. Поэтому на карте выделяются два поля, а на гистограмме две зоны различной проницаемости грунтов, определяющие особенности распределения активности выходов радона на изучаемой площади. Легкие газы, такие как водород, метан и гелий, быстро разносятся в подвижной атмосфере, тогда как радон, как тяжелый газ, имеет тенденцию стекать в понижения рельефа и задерживаться в них.

Полученные материалы и результаты их интерпретации авторы рассматрива-

ют как первый опыт использования имеющейся аппаратуры для осуществления крупномасштабных площадных экологических и гидрогеологических исследований с целью обнаружения опасных участков возможных скоплений радона в низинах пригородных зон г. Казани.

Принимая во внимание большой удельный вес радона, его способность формировать застойные зоны в понижениях рельефа и адсорбцию его органикой, для повышения надежности полевых исследований имеет смысл предпринять изучение и последующее использование корреляции концентраций радона с массовыми выходами других, более подвижных и легких газов.

Список литературы

1. Бочаров В.Л., Строганова Л.Н. Геохимические идеи В.И. Вернадского и развитие атомной энергетики современной России // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. Т. 18. № 2. С. 493–498.
2. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10 (с изменениями на 16 сентября 2013 года) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902214068> (дата обращения: 10.08.2023).
3. Ступакова А.В., Поляков А.А., Малышев Н.А., Сауткин Р.С., Вержбицкий В.Е., Комиссаров Д.К., Волянская В.В., Осипов С.В., Большакова М.А., Суслова А.А., Калмыков А.Г., Ситар К.А., Воронин М.Е., Карпушин М.Ю., Мордасова А.В., Коробова Н.И. Критерии нефтегазоносности осадочного бассейна // Георесурсы. 2023. Т. 25. № 2. С. 5–21.
4. Мирзоев К.М. и др. Глубинный карст и современные движения земной поверхности в Татарстане // Георесурсы. 2006. № 1 (18). С. 44–47.
5. Сунгатуллин Р.Х., Хасанов Р.Р. Подземные воды некаменноугольных отложений Татарстана в связи с перспективной комплексной разработки месторождений углеводородного сырья // Георесурсы. 2013. № 3 (53). С. 41–43.
6. Нефтегазоносность Республики Татарстан. Геология и разработка нефтяных месторождений / Под ред. Р.Х. Муслимова. В 2-х т. Т. 1. Казань: Изд-во «Фэн» АН РТ, 2007. 316 с.
7. SARAD GmbH [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sarad.de/index.php> (дата обращения: 15.08.2023).
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Издание второе. Карта четвертичных образований. Средневожская серия / Геологическая Библиотека [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geokniga.org/labels/22324> (дата обращения: 20.08.2023).
9. Жаркова Н.И., Черныйчук Г.А., Жарков И.Я. Техногенные грунты г. Казани: особенности формирования состава, строения и свойств // Ученые записки Казанского университета. Естественные науки. 2013. Т. 155. Кн. 4. С. 130–143.
10. Зинатуллина И.П., Петрова Р.Д. Трещиноватость горных пород продуктивных горизонтов на юго-востоке южно-татарского свода // Недра Поволжья и Прикаспия. 2019. № 100. С. 62–69. DOI: 10.24411/1997-8316-2019-110005.
11. Петрова Е.В. Перестройка речной сети и направленность смещения водоразделов в пределах территории Республики Татарстан в четвертичное время // Вестник Улмургского университета. 2019. Т. 29. № 2. С. 252–257. DOI: 10.35634/2412-9518-2019-29-2-252-257.