



**I Международная
научно-практическая
конференция
ЯДЕРНЫЕ ЗНАНИЯ В XXI ВЕКЕ
Сборник научных трудов**

**26 ноября 2025 года
Минск, Беларусь**



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПО УЧЕТУ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЯХ НА СТАРОБИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Международные независимые исследования разных стран показывают на наличие связи между радоном в воздухе жилых помещений и раком легкого. Исследования радона в воздухе жилых помещений и рака легких в Европе, Северной Америке и Азии дают убедительные доказательства того, что радон вызывает значительное число случаев рака легких у населения в целом. Для оценки дозовых нагрузок влияния эмиссии радона на население проводятся измерения концентрации радона в воздухе подвальных этажей в жилых помещениях.

Выделения потока радона из горных пород и минералов происходит в зонах тектонических разломов и обеспечивают основные пути выхода радона и других газов [5].

Изменения геохимических (химический состав, содержание радона, трития и ^{14}C в подземных водах, температура воды), геофизических (напряженно-деформированное состояние среды) и гидрологических параметров (уровень воды в скважинах), предшествующие значительным землетрясениям, регистрируются с 1960-х годов. Первое доказательство корреляции между эмиссией ^{222}Rn и землетрясением получено перед Ташкентским землетрясением 26 апреля 1966 г.. Повышенная активность радона в нескольких глубоких скважинах глубиной 1200-2400 м в г. Ташкенте и его окрестностях постепенно росла, а затем упала во время сильного землетрясения до нормального уровня примерно 19 Бк/л. Возможность использования эмиссия радона как предвестника землетрясений стимулировала ученых на множество дополнительных исследований и впоследствии сыграла важную роль в успешном прогнозировании землетрясения в Хайчэне (Китай), и эвакуации населения перед одним из разрушительных землетрясений в истории. После этого большое количество исследований в этой области, в которых утверждалось о корреляции между почвенным газом, концентрацией радона в грунтовых водах и землетрясениями, привело к появлению большого количества публикаций [5].

Изучение динамики флюидопереноса в тектонических нарушениях с использованием эмационного метода, позволило выявить некоторые закономерности изменения геодинамических полей под влиянием глобальных процессов, которые создают основу для детерминированного подхода при прогнозировании развития геодинамической обстановки практически в любом из регионов планеты [4].

На территории Беларуси распределение объемной активности радона в наиболее распространённых геологических структурах - типах четвертичных отложений, коренных пород платформенного чехла и фундамента, обобщено в работе [3]. Определение объемной активности радона проводили в процессе полевых исследований по профилям. На основе обобщенных данных, показано следующее, аномалии объемной активности радона ОАР в зонах разрывных нарушений различаются по интенсивности и линейным параметрам, что определяется особенностями геодинамических процессов и рангом разломов. Выявлена сложная структура линейных аномалий ОАР в зонах разрывных нарушений (чередование на небольшом расстоянии максимальных и близких к фоновым значениям), что соответствует строению этих зон, по плоскостям раздела которых происходит смещение горных пород [3].

При измерениях эквивалентной равновесной объемной активности радона в подвальных помещениях зданий, необходимо учитывать факт наличия или отсутствия поблизости тектонических разломов и их параметров.

В настоящей работе впервые выполнена оценка влияния объемной активности радона, зафиксированного перед сейсмическими событиями, на формирование дозы на население. Данная оценка появилась как побочный результат экспериментальных работ по непрерывным измерениям эмиссия радона, как возможного предвестника сейсмических событий на Старобинском месторождении калийных солей.

Длительная разработка Старобинского месторождения калийных солей обусловила нарушения равновесных условий, что вызвало критическое перераспределение напряжений в разрабатываемых пластах и вмещающих породах. Происходящие слабые сейсмические события являются следствием естественных деформационных процессов, несут важную информацию о пространственном расположении активно деформирующихся областей горного массива.

С 1983 г. (начало непрерывных наблюдений) по 2025 г. зарегистрировано и обработано порядка 2000 сейсмических событий (определены кинематические и динамические параметры) в районе Старобинского месторождения калийных солей и на окружающей его территории с энергетическим классом $K=4,1-9,5$ или в единицах локальной магнитуды $M=0,1-3,1$.

Современные сейсмологические наблюдения в районе Старобинского месторождения калийных солей представляют собой локальную сеть в составе 8 пунктов наблюдений. С целью проведения экспериментальных циклических работ за объемной активностью радона в осенне-летний период 2025 года пункт наблюдений локальной сети «Махновичи» дополнен прибором непрерывного измерения объемной активности радона. Пункт наблюдений «Махновичи» расположен в южной части Старобинского месторождения калийных солей в зоне Червонослободско-Малодушинском разлома, который имеет простираение с юго-востока на северо-запад и относится к региональным разломам, проникающим в чехол.

Циклические исследования объемной активности радона проводились по методике, приведенной в [2]. Определение объемной активности проводилось ежечасно с 30 июня 2025 г. до 30 июля 2025 г. и с 2 сентября 2025 г. по

25 сентября 2025 г. В объеме полученных данных отсутствуют данные с 2 июля 2025 г. до 7 июля 2025 г. по технической причине.

Для данной работы интересны результаты исследований с 7 июня до 30 июля 2025 г. когда перед сейсмическими событиями в районе Старобинского месторождения калийных солей фиксировались повышенные значения ОАР.

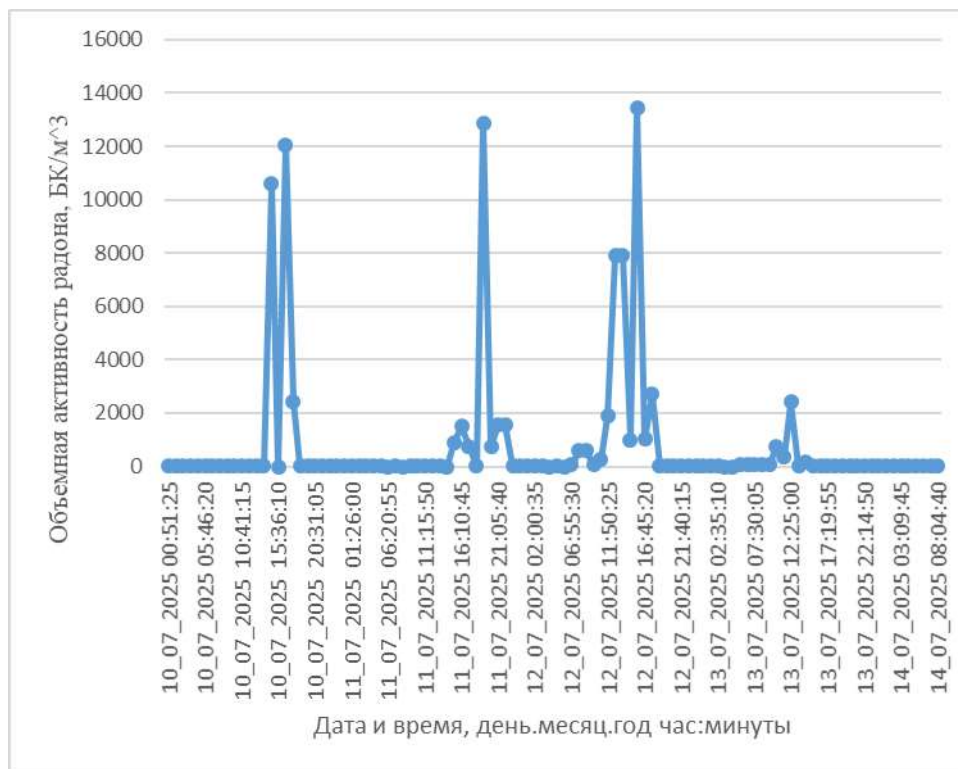


Рисунок 1. Сглаженная объемная активность радона на обсерватории «Махновичи» 7–10 июля 2025 г.

ОАР в период 7-30 июля 2025 г. не стабильна. В подавляющем большинстве случаев она не превышает 84 Бк/м³. В ряде случаев перед сейсмическими событиями значения ОАР возрастают и достигают в максимуме 13 427 Бк/м³ (рис. 1). В связи с этим представляло целесообразным оценить среднюю ОАР в период 7–30 июля 2025 г.

Оценку проводили двумя способами. В обоих случаях ОАР измерялась с периодичностью 1ч.0мин.59сек., что эквивалентно 3 569 сек.

При первом способе использовалась фактическая ОАР, которая считалась величиной постоянной до следующего измерения.

При втором способе учитывалась погрешность прибора. По информации изготовителя прибора «Альфарад плюс РП» предел допустимой основной относительной погрешности измерения объемной активности радона в пробах составляет - $\pm 20\%$ [2]. Исходные графики объемной активности радона характеризуются множеством максимумов, которые в первую очередь обусловлены относительной погрешностью измерения объемной активности радона (рис. 2).

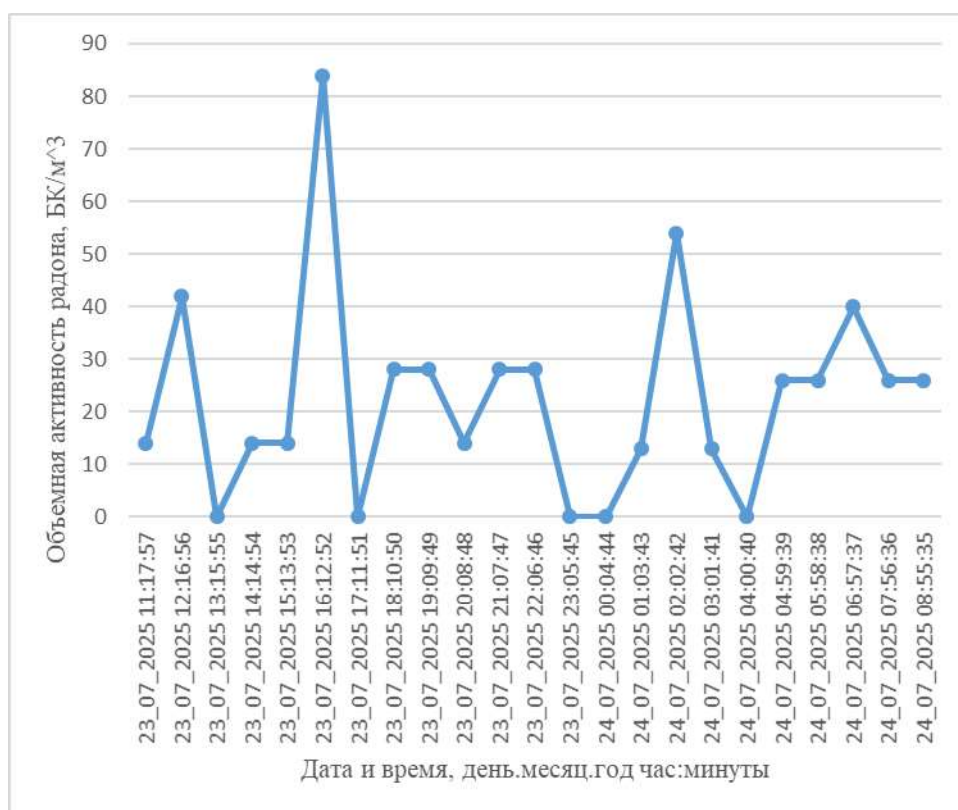


Рисунок 2. Объемная активность радона на пункте наблюдений «Махновичи» 23–24 июля 2025 г.

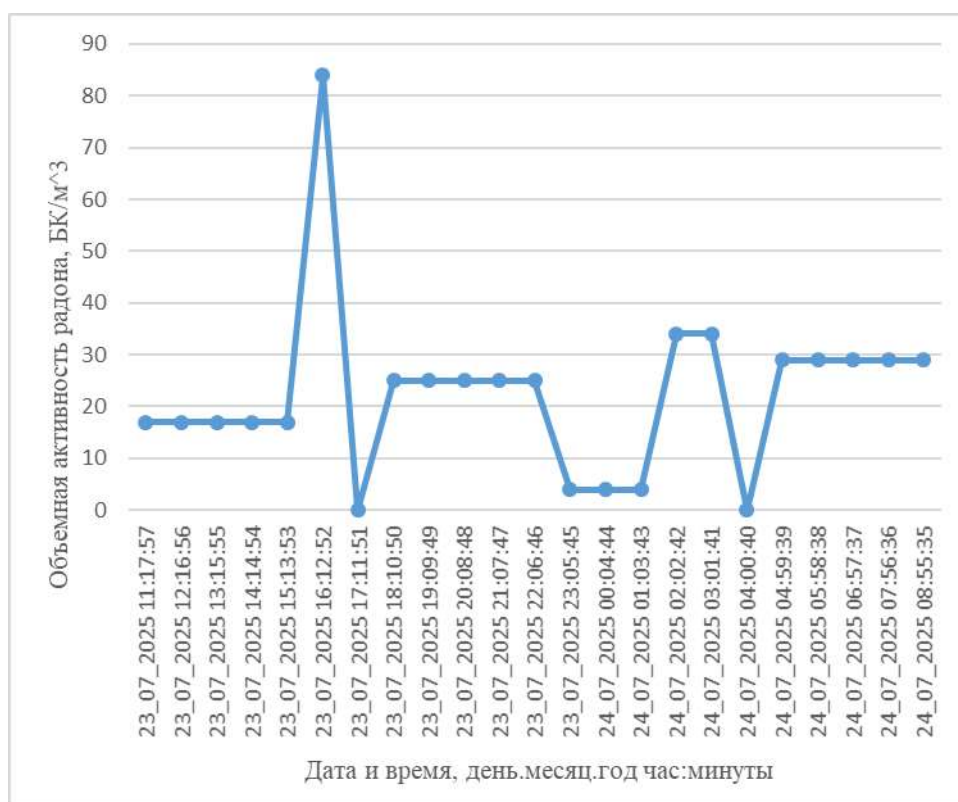


Рисунок 3. Сглаженная объемная активность радона на пункте наблюдений «Махновичи» 23–24 июля 2025 г.

Исходя из данных циклических измерений: «дата/время – объемная активность радона – абсолютная погрешность измерения объемной активности радона», разработан алгоритм сглаживания полученных данных, позволяющий исключить из рассмотрения погрешности измерений объемной активности радона. На основе алгоритма, разработана программа осреднения данных объемной активности радона AverageRadonValue.exe. Эти осредненные данные ОАР использовались в расчетах средней ОАР (рис. 3).

Результаты расчетов показали, что средняя ОАР в период 7–10 июля 2025 г. при первом способе расчета составляет 171 Бк/м³, а при втором способе 172 Бк/м³.

Таким образом, результаты расчета средней ОАР двумя способами совпадают, при этом средняя ОАР с учетом сейсмических событий не менее чем в два раза больше, чем подавляющее большинство регистрируемых значений ОАР.

Литература

1. Аронов, А.Г. Мониторинг индуцированной сейсмичности в районе Старобинского месторождения калийных солей в Беларуси / А.Г. Аронов, Г.А. Аронов // Вестник НИЦ РК. – 2018. – № 2. – С. 129-134.
2. Комплекс измерительный для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов «Альфарад+». Руководство по эксплуатации БВЕК 590000.001 РЭ. – Москва, 2021. – 81 с.
3. Матвеев, А.В. Радон в геологических комплексах Беларуси / А.В. Матвеев, А.К. Кабанов, М.И. Автушко – Минск – Беларуская навука, 2017. – 136 с.
4. Рудаков, В.И. Эманиационный мониторинг геосред и процессов / В.И. Рудаков – Москва: Высшая школа, 2009. – 176 с.
5. Baskaran, M. Radon: A Tracer for Geological, Geophysical and Geochemical Studies / M. Baskaran – Springer Geochemistry. – 260 p.