

УДК 550.35:614.876

## ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ПРИРОДНОГО РАДОНОВОГО ЭМАНАТОРИЯ НА ГОРЕ БЕШТАУ (КАВКАЗСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ)

© 2025 г. П. А. Сидякин<sup>1,\*</sup>, Д. В. Щитов<sup>1</sup>, Д. Н. Цебро<sup>1</sup>, М. А. Мурзабеков<sup>1</sup>,  
П. С. Микляев<sup>2,\*\*</sup>, Т. Б. Петрова<sup>3,\*\*\*</sup>, Н. И. Глухова<sup>4,\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Северо-Кавказский федеральный университет, Пятигорский институт (филиал),  
ул. Ермолова 46, Пятигорск, Ставропольский край, 357500 Россия

<sup>2</sup>Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,  
Уланский пер. 13, стр.2, Москва, 101000 Россия

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Ленинские горы 1, стр. 3, ГСП-1, Москва, 119991 Россия

<sup>4</sup>Санаторно-курортный комплекс Мащук Аква-Терм,  
ул. Родниковая 22, п. Инноземцево, Железноводск, Ставропольский край, 357431 Россия

\*E-mail: [sidyakin\\_74@mail.ru](mailto:sidyakin_74@mail.ru)

\*\*E-mail: [peterm7@inbox.ru](mailto:peterm7@inbox.ru)

\*\*\*E-mail: [tbp111@inbox.ru](mailto:tbp111@inbox.ru)

\*\*\*\*E-mail: [direktor@sanatory-mashuk.ru](mailto:direktor@sanatory-mashuk.ru)

Поступила в редакцию 28.09.2024 г.

После доработки 29.10.2024 г.

Принята к публикации 25.11.2024 г.

Рассмотрены вопросы возможности создания первого в России природного радонового эманатория на горе Бештау (Кавказские Минеральные Воды). Наиболее подходящими для создания радонового эманатория являются штольни, расположенные на нижних горизонтах уранового рудника горы Бештау. Проведенные исследования показали, что средние значения объемной активности радона на устьях нижних штолен колеблются от 50 до 354 кБк/м<sup>3</sup>, что достаточно для организации эманатория. Значения эквивалентной равновесной объемной активности радона составляют в среднем 35–44 кБк/м<sup>3</sup>. Значения плотности потока радона с поверхности грунта в зонах повышенной трещиноватости горных пород, которые, вероятно, сообщаются с рудничным пространством, достигают значений свыше 8000 мБк/м<sup>2</sup>·с. Установлено, что содержание радона на устьях штолен испытывает сильные сезонные колебания, которые можно объяснить процессом конвективной циркуляции воздуха в системе горных выработок за счет перепада температур между горным массивом и атмосферой. Представлены основные рекомендации по устройству радонового эманатория. Создание эманатория будет способствовать привлечению новых посетителей Кавказских Минеральных Вод, а также позволит предложить новые медицинские услуги для лечения целого спектра заболеваний.

**Ключевые слова:** радон, радоновый эманаторий, объемная активность радона, плотность потока радона, мощность амбиентного эквивалента дозы

DOI: 10.31857/S0869780925010017 EDN: DNBSUC

### ВВЕДЕНИЕ

Использование природных лечебных факторов с целью усиления и/или изменения их биологического потенциала — довольно актуальная задача для современной отечественной курортологии. В настоящее время весьма перспективным направ-

лением является изучение и применение бальнеологических средств и их комплексов, которые обладают синергизмом в механизмах действия на различные обменные процессы организмов, находящихся как в нормальном состоянии, так и при патологии [14]. В курортном регионе Кавказские

Минеральные Воды (КМВ) хорошо изученными и давно применяемыми лечебными методами являются воздействия природными минеральными водами, которые имеют высокую эффективность при лечении целого спектра заболеваний, и результативность, подтверждённую широкой клинической практикой. Дополнительный терапевтический фактор в регионе — уникальный климат, который в сочетании с горным рельефом КМВ образует благотворную среду, улучшающую регенеративные функции организма [14].

Исторически с прошлого века и до сегодняшнего дня широкой популярностью пользуются радоновые ванны Пятигорска, в них были предусмотрены до 15 наименований процедур на основе радоновой воды [3, 12]. В настоящее время рассматривается возможность оборудования первого в нашей стране радонового эманатория в одной из неэксплуатируемых штолен бывшего уранового рудника на горе Бештау.

Радоновый эманаторий (радиоэманаторий) представляет собой инженерное сооружение, предназначенное для проведения радоновых процедур и ингаляций воздушно-радоновой смесью. Основное помещение эманатория — лечебная камера, в которой создаются и поддерживаются оптимальные условия для лечения широкого спектра заболеваний. Для безопасного проведения рекреационных процедур определяется и устанавливается оптимальная концентрация радиоактивного газа радона ( $^{222}\text{Rn}$ ) и его дочерних продуктов распада (ДПР) в помещении лечебной камеры. В отличие от классических радоновых ванн, где пациент размещается в бассейне, вода которого содержит растворенный газ радон, в эманаториях проводится сеанс воздушно-радоновой терапии и/или ингаляции [5]. Радонотерапия — один из видов лучевой терапии, механизмы биологического и лечебного действия которого связаны с влиянием малых доз  $\alpha$ -излучения радиоактивного газа  $^{222}\text{Rn}$  и его ДПР на сердечно-сосудистую, иммунную и центральную нервную систему организма, благодаря которому повышаются защитно-приспособительные возможности организма в борьбе с патологическими воздействиями [13].

Один из способов получения воздушно-радоновой смеси подразумевает использование природных полостей (гrotы, пещеры), либо техногенных подземных горных выработок (штольни, шахты), где, ввиду особых геологических условий, в воздухе содержится пригодная для лечения концентрация (объемная активность) радона. Регулирование концентрации, как правило, осуществляется путем использования комбинированной системы вентиляции [4].

Создание радонового эманатория повысит привлекательность курортного региона КМВ,

привлечет новых туристов и отдыхающих, а также позволит людям, нуждающимся в процедурах воздушной радонотерапии, использовать отечественные природные ресурсы, а не зарубежные здравницы. Посещение радонового эманатория, кроме пользы для здоровья, имеет также туристическую привлекательность, так как предоставит возможность оказаться внутри горы Бештау и побывать в местах, где несколько десятилетий назад проводилась добыча урана.

Перспектива оборудования эманатория в одной из штолен бывшего уранового месторождения обуславливает необходимость изучения радиационной обстановки на территории, а также радонового режима в штольнях. Эти данные должны лечь в основу принятия решений при выборе наиболее подходящих условий и последующей разработки проекта вентиляции для поддержания концентрации радона и его ДПР на необходимом уровне бальнеологического эффекта и требований радиационной безопасности.

В работе представлены результаты изучения концентрации радона и мощности дозы гамма-излучения на устьях штолен бывшего уранового рудника на горе Бештау, а также плотности потока радона с поверхности грунта в зонах трещиноватости, сообщающихся с рудничным пространством.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В последние годы разработано множество различных методов радонотерапии, что позволило существенно расширить спектр показаний к применению радона. Медицинская терапия с природными и искусственными радоновыми водами — одна из самых распространенных процедур, которая в настоящее время применяется в современных санаториях и SPA-центрах на курортах России и всего мира. Она реализуется в виде гидротерапии, душей, орошений, а также путем ингаляций в сухих радоновых эманаториях. В настоящее время радоновое лечение показано при множестве заболеваний, среди которых болезни центральной нервной системы, кожные заболевания и др. [13].

Механизм воздействия радона на организм человека до конца не ясен. В ходе радоновых процедур, как сухих, так и водных, на коже и слизистых пациента образуется радиоактивный налет, содержащий альфа-активные изотопы, которые, в свою очередь, усиливают афферентную импульсацию в коже. Альфа-излучение, испускаемое радоном и его дочерними продуктами, вызывает ионизацию вещества и дальнейшие сложные физико-химические и биологические изменения в клеточном обмене, стимулируя окислительные процессы [1]. По завершении терапии радиоактивный газ радон выводится из организма спустя 2.5–3 ч. Дочерние

же продукты распада полностью теряют свою активность через 4–6 ч [4], что исключает негативное воздействие радона на организм человека при условии кратковременных процедур, проводимых под наблюдением врачей.

Крупнейшими и самыми известными радоновыми курортами в России считаются Пятигорск (Ставропольский край), Белокуриха (Алтайский край) и Увильды (Челябинская область). Радоновыми водами в Российской Федерации считаются минеральные воды, концентрация (объемная активность) радона в которых составляет не менее 185 Бк/л (уровень вмешательства по содержанию радона в питьевой воде — 60 Бк/л [15]). В Польше радоновыми считаются воды с объемной активностью  $^{222}\text{Rn}$  более 375 Бк/л, во Франции — 370 Бк/л, в Чехии — 1192 Бк/л, в Германии — 6885 Бк/л. Самые известные радоновые курорты в Европе: Бад-Гаштайн (Австрия), Бад-Кройцнах (Германия), Яхимов (Чехия), оз. Ховиз (Венгрия), Лутарки (Греция), Лендек Здруй (Польша).

В Российской Федерации радоноterapia реализована в основном в виде приема пациентами классических водных радоновых ванн (бассейнов), в то время как в Европе функционируют и так называемые “природные” радоновые эманатории, расположенные в старых горных выработках: Бад-Гаштайн, Австрия и Баньи-ди-Бормио, Италия [2, 10]. Анализ зарубежной литературы показывает, что терапия в природных эманаториях имеет ряд преимуществ по сравнению с обычными ваннами, так как в них достигаются более высокие концентрации радона при лучшей переносимости пациентами. Также исследователи заявляют о более длительном допустимом безопасном времени ингаляционной терапии по сравнению с классическими водными процедурами [17, 18]. Наиболее известный естественный радоновый эманаторий сухого типа, реализованный внутри горных выработок бывшего золотого рудника в Австрии, — штольня эманатория Gasteiner. Heilstollen Gasteiner Heilstollen, оздоровительный центр в австрийской долине Гастайнерталь недалеко от г. Бад-Гаштайн. Курс лечения основывается на терапевтических ингаляционных процедурах, проводимых в штольнях длиной около 2.5 км. Главная лечебная камера в горных выработках оборудована лежаками и местами для отдыха. Высокая влажность, повышенная до 40°C температура и повышенная концентрация радона в воздухе делают штольни в толще горы Радхаусберг уникальными.

Доступная для посещения часть подземных горных выработок имеет протяженность 2238 м. Главный ход штольни протяженностью 1.9 км пересекается с квершлагом, где организована основная терапевтическая зона. Выработки освещены, на подошве уложена узкоколейная железная дорога, по которой организовано движение пасса-

жирских составов от надземного оздоровительного комплекса до конца штольни. Штольня разбита на четыре зоны с различной температурой от 38 до 41.5°C, влажностью от 70 до 100% и концентрацией радона в воздухе неветилируемой части штольни от 43 до 160 кБк/м<sup>3</sup> [10, 18, 19]. Перед началом терапии пациент проходит обязательное медицинское обследование, после чего допускается до первого пробного сеанса, который проходит в первой, самой щадящей зоне. Далее, если никаких отклонений не обнаружено, пациент получает специальный пропуск в остальные зоны. Поезд сопровождается двумя квалифицированными медиками. Терапевтические зоны оборудованы раздевалками, шкафами с личными вещами и койками-лежаками с кнопками вызова врача. У пациентов, получавших радоновую терапию в галерее Бад-Гаштайна, наблюдается значительное и клинически значимое улучшение качества жизни в течение 6–9 мес. после лечения [18, 19].

Учитывая опыт создания и эксплуатации природных радоновых эманаториев в зарубежных странах, целесообразно рассмотреть возможность создания радонового эманатория в курортном регионе КМВ, который имеет ряд уникальных особенностей, значительная часть из которых до сих пор в полной мере не реализуется.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на особо охраняемой природной территории (ООПТ) горы Бештау, которая пользуется туристической популярностью у жителей и гостей региона. На горе располагается неэксплуатируемый бывший урановый рудник, ныне рекультивированный. Гора Бештау расположена на юге Ставропольского края и представляет собой сложный многофазный интрузив из щелочных гранитных порфиров, трахитов и липаритов. В глубине массива залегают урановые рудные жилы, приуроченные к системе разломов и трещин северо-западного простирания. Крупнейшая жильная система на южном склоне горы содержит уран до нескольких процентов [6]. Урановое месторождение на горе Бештау вскрыто штольнями — горизонтальными подземными горными выработками, часть из которых в настоящее время находится в удовлетворительном состоянии. Большинство штолен пройдены в довольно прочных гранит-порфирах, а вблизи некоторых устьев сооружены площадки, к которым ведут подъездные дороги. Наличие частично сохранившейся инженерной инфраструктуры месторождения позволяет использовать отдельные элементы заброшенного уранового рудника на горе Бештау в качестве базы для создания первого в России подземного радонового эманатория сухого типа.

В процессе рекультивации территории рудника, продолжавшейся с перерывами в 1970-е годы, а затем в 1990–2010-е годы, доступ в штольни был закрыт (забетонирован или засыпан грунтом). Вместе с тем часть устьев в последующем была несанкционированно открыта. На устьях штолен образовались узкие провалы и ходы, частично, возможно, за счет суффозии, а частично вырытые искателями приключений. Эти провалы в настоящее время являются путями взаимодействия подземного пространства рудника с окружающей средой. В связи с невозможностью проведения исследований непосредственно внутри заброшенных горных выработок по соображениям горной и радиационной безопасности исследования были сосредоточены на площадках вокруг подобных провалов. На каждой площадке измерения проводились в разные сезоны года, как в теплый, так и в холодный период. Оценка пригодности штолен для создания эманатория проводилась на основании косвенных данных, полученных на поверхности территорий, расположенных над устьями штолен, с привлечением архивных данных измерений концентрации радона в штольне №31, проведенных Пятигорским НИИ Курортологии в 1980-е годы.

Расположение не полностью ликвидированных устьев штолен на горе Бештау представлено на рис. 1.

В ходе проведения исследований на выбранных участках определялись мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения, значения объемной активности (ОА) и эквивалентной

равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в потоке воздуха, выбрасываемого из рудника в атмосферу через устья штолен. Также проводились измерения плотности потоков радона (ППР) с поверхности грунта в зонах трещиноватости, возможно, сообщающихся с горными выработками.

МАЭД гамма-излучения определялись дозиметрами ДКГ-07Д “Дрозд” и ДРГ-01Т на высоте 1 м от поверхности земли. Диапазон МАЭД составлял ( $10^{-1}$ – $10^3$ ) мкЗв/ч, погрешность измерения не превышала 15% ( $2\sigma$ ). Измерения ЭРОА и ОА радона в воздухе проводились с помощью аэрозольного альфа-радиометра РАА-3-01 “Альфа-АЭРО”. Диапазон измеряемых значений ЭРОА радона составлял ( $1$ – $10^6$ ) Бк/м<sup>3</sup>. Погрешность измерений — 30%. ППР с поверхности грунта измеряли методом открытой угольной камеры с использованием измерительного комплекса “Камера-01”. Время экспонирования накопительных камер составляло 3–5 ч. Диапазон регистрации ППР — от  $3 \cdot 10^{-3}$  до 100 Бк/(м<sup>2</sup>·с), неопределенность значений ППР — 30–40%. Используемое оборудование прошло обязательную поверку и внесено в Государственный реестр средств измерений РФ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований были получены значения ОА и ЭРОА радона, а также МАЭД гамма-излучения у открытых устьев штолен, которые, как упоминалось выше, в определенной степени могут характеризовать концентрацию радона в штольнях. Результаты приведены в табл. 1 и 2. На основании обобщения



Рис. 1. Расположение исследуемых штолен на горе Бештау.

результатов измерений, полученных как в рамках данного исследования, так и немного ранее [7, 8], установлено, что концентрация радона на устьях штолен подвержена сильным сезонным колебаниям, характер которых зависит от абсолютной отметки устья штольни. На отметках ниже абс. отметки 900 м летом в жаркую погоду из штолен дует холодный рудничный воздух, содержащий высокие концентрации радона и продуктов его распада, что обуславливает очень высокие значения ОА и ЭРОА радона, а также мощности дозы гамма-излучения на участках, прилегающих к устьям. Однако в зимний период наблюдается движение воздуха в обратном направлении — в штольни затягивается атмосферный воздух. Из устьев штолен, расположенных выше абс. отметки 900 м, дует теплый рудничный воздух.

Учитывая результаты, полученные ранее [7, 8], наблюдаемые сезонные колебания содержания радона на устьях штолен можно объяснить процессом тепловой конвекции воздуха в системе горных выработок за счет перепада температур между горным массивом и атмосферой. В летнее время воздух внутри рудника более холодный и плотный, чем в окружающей атмосфере, за счет чего он опускается вниз и, вытесняя атмосферный воздух в штольнях нижних горизонтов (ниже абс. отм. 900 м), разгружается в атмосферу. В зимний период, наоборот, рудничный воздух теплее атмосферного, за счет чего он поднимается вверх и разгружается в атмосферу через устья штолен верхних горизонтов рудника, расположенных на абс. отм. выше 900 м.

Таким образом, значения ОА и ЭРОА радона, а также мощности дозы гамма-излучения на устьях штолен в моменты разгрузки рудничного воздуха характеризуют его свойства и, косвенно, радиационную обстановку внутри штолен. Абсолютная отметка 900 м является “нулевой поверхностью”, где не происходит сезонных колебаний давления, обусловленных конвекцией. На устьях штолен, расположенных вблизи этой отметки, движение воздуха значительно слабее и не подчиняется четкой сезонной закономерности, а концентрация радона в воздухе относительно низкая. Примером может служить шт. №13 (см. табл. 1).

Максимальная ОА радона в потоке рудничного воздуха у открытых устьев неэксплуатируемых штолен достигает значений до 595 кБк/м<sup>3</sup> (шт. №10); средние значения в летний период на устьях нижних штолен составляют 50–354 кБк/м<sup>3</sup>, а в зимний период (на устьях верхних штолен) колеблются в диапазоне 3.2–212 кБк/м<sup>3</sup>. Максимальная ЭРОА радона в потоке рудничного воздуха, выходящего из устья штольни на дневную поверхность горы, достигает 89 кБк/м<sup>3</sup>. Результаты исследований, приведенные в табл. 1, подтверждают наличие необходимых концентраций радона внутри штолен для реализации проекта строительства подземного радонового эманатория. В литературе, посвященной современным возможностям радиотерапии, отмечается, что концентрации воздушно-радоновой смеси с ОА 4–8 кБк/м<sup>3</sup> достаточны для проведения групповых радоновых ингаляций в эманаториях подземного типа [13]. Вместе с тем, основываясь на результатах наших

**Таблица 1.** Средние за сезон значения и диапазон колебаний МАЭД гамма-излучения, ОА и ЭРОА радона в потоке рудничного воздуха на устьях не до конца ликвидированных штолен бывшего уранового рудника на горе Бештау

| № штольни         | Абсолютная отметка устья, м | Сезон проведения измерений | МАЭД, мкЗв/ч      | ОА радона, кБк/м <sup>3</sup> | ЭРОА радона, кБк/м <sup>3</sup> |
|-------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| шахта “Восточная” | 1005                        | Зима                       | 1.9<br>(1.3–2.8)  | 22.5<br>(1.3–65.6)            | 5.8<br>(0.1–14.0)               |
| шт. 216           | 943                         |                            | 9.7<br>(2.9–15.5) | 212.4<br>(117.4–383.2)        | 36.3<br>(14.5–60.1)             |
| шт. 13            | 914                         |                            | 0.7<br>0.5–1.0    | 3.2*                          | 2.4*                            |
| шт. 27            | 880                         | Лето                       | 9.9<br>(6.7–14.7) | —**                           | —**                             |
| шт. 31бис         | 830                         |                            | 4.0<br>(1.0–7.6)  | 50.6<br>(18.2–83.0)           | 35.0<br>(16.4–53.6)             |
| шт. 10            | 777                         |                            | 9.6<br>(5.8–18.8) | 354.8<br>(226.5–595.0)        | 43.7<br>(28.3–89.0)             |

\*разовый замер; \*\*измерения ОА и ЭРОА радона не проводились.

исследований характеристик радона вблизи устьев штолен, необходимо учитывать значительные сезонные вариации уровней радона, возникающие за счет естественной конвективной циркуляции воздуха в системе горных выработок бывшего рудника.

В табл. 1, кроме высоких значений ОА и ЭРОА радона, следует отметить также высокие значения МАЭД гамма-излучения, обусловленные распадом короткоживущих дочерних продуктов радона  $^{214}\text{Bi}$  и  $^{214}\text{Pb}$ . Наибольшие показатели МАЭД гамма-излучения в летний период отмечены на устье штольни №10 (18.8 мкЗв/ч), в то время как в холодный сезон, максимальные значения наблюдались у штольни №21б (15.5 мкЗв/ч). Как было установлено ранее [8], МАЭД гамма-излучения изменяются пропорционально с изменениями значений ЭРОА радона. Повышенные значения МАЭД гамма-излучения в потоке рудничного воздуха, а также урановая специфика месторождения, позволяют утверждать, что в штольнях также будет наблюдаться высокий уровень гамма-излучения, что необходимо учитывать при проектировании эманатория.

Кроме того, были определены значения ППР с поверхности горных пород для различных участков горы Бештау [7]. В табл. 2 приведены результаты измерений ППР, выполненных в феврале и апреле 2024 г. на участках зон повышенной трещиноватости горных пород, где радон поступает к поверхности из недр горы, в том числе, возможно, из горных выработок.

В соответствии с действующими нормативами значение ППР на территориях, предназначенных под строительство жилых и общественных зданий, не должно превышать 80 мБк/м<sup>2</sup>·с, производственных зданий — 250 мБк/м<sup>2</sup>·с [9]. Как видно из табл. 2, ППР на территории горы Бештау может в десятки,

а для отдельных точек в сотни раз превышать нормативные уровни. Такие высокие значения ППР позволяют с высокой вероятностью спрогнозировать высокие концентрации радона в воздушной среде в замкнутых полостях неэксплуатируемых штолен. Существенное превышение допустимых уровней ППР требует предусматривать радоно-защитные мероприятия при проектировании как подземных, так и надземных сооружений эманатория.

В табл. 3 приведены радиометрические данные измерений концентрации (объемной активности) радона внутри подземных горных выработок шт. №31, расположенной на горизонте около 850 м над уровнем моря. Исследования проводились Пятигорским НИИ Курортологии в 1980–1981 гг., когда штольня еще не была выведена из эксплуатации. В момент проведения измерений движение воздуха в штольне отсутствовало (Научно-технический отчет. Изучение радиологических и микроклиматических условий штолен горы Бештау. Пятигорский научно-исследовательский институт курортологии и физиотерапии, 1982).

Данные табл. 3 в целом по порядку величины соответствуют уровням радона, полученным на устье шт. №31бис, и также подтверждают возможность использования этой штольни в качестве радонового эманатория. Следует отметить, что представленные в табл. 3 результаты получены более сорока лет назад, в период, когда штольни еще не были выведены из эксплуатации. В настоящее время провести подобные измерения активности радона в штольнях, к сожалению, не представляется возможным. Однако результаты измерений ОА и ЭРОА радона, полученные на устьях штолен, свидетельствуют о том, что высокие уровни радона в штольнях сохраняются до сих пор.

**Таблица 2.** Значения плотности потока радона с поверхности горы Бештау

| № точки | Краткое описание                                                                                              | ППР, мБк/м <sup>2</sup> ·с |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1       | В 500 м севернее Бештаугорского монастыря, трещина в небольшой скале, периодическое высачивание подземных вод | 4850 ± 720                 |
| 2       | В 50 м севернее родника “Надежда”, крупная трещина, высачивание подземных вод                                 | 8336 ± 1481                |
| 3       | В 15 м выше родника “У Орлиных скал” в трещине                                                                | 7926 ± 1200                |
| 4       | Район Орлиных скал, западный склон                                                                            | 6545 ± 1145                |
| 5       | Бештаугорская Кольцевая дорога, под грядой Орлиных скал                                                       | 995 ± 241                  |
| 6       | Площадка у шт. №31бис                                                                                         | 4610 ± 943                 |

**Таблица 3.** Значения объемной активности радона внутри подземных горных выработок шт. №31 (1980–1981 гг.)

| № п/п            | Локализация точки измерений | Расстояние от устья, м | ОА радона, кБк/м <sup>3</sup> | ЭРОА радона, кБк/м <sup>3</sup> |
|------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1                | Ствол штольни               | 750                    | 7.5                           | 5.0                             |
| 2                | Развилка у руддвора         | 1100                   | 175                           | 80                              |
| 3                | Ствол шахты “Восточная”     | 1260                   | 100                           | 100                             |
| 4                | Помещение подъемной машины  | 1250                   | 295                           | 280                             |
| Среднее значение |                             |                        | 145                           | 116                             |

### РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТРОЙСТВУ ЭМАНАТОРИЯ

Рассмотрим возможность устройства радонового эманатория сухого типа на горе Бештау на примере одной из неэксплуатируемых штолен, расположенных на нижних горизонтах рудника (до 900 м н.у.м.). Верхние горизонты (от 900 м н.у.м.) для создания радонового эманатория, на наш взгляд, неактуальны, по следующим причинам:

- выработки выше горизонта 900 м находятся в плохом техническом состоянии;

- к большинству штолен отсутствуют подъездные дороги;

- из-за удаленности штолен от главной Бештаугорской кольцевой дороги, существенно возрастают дополнительные экономические затраты на инженерные сети, организацию подъезда и т.д.;

- низкие концентрации радона в летний период, т.е. в разгар туристического сезона.

К нижнему горизонту относятся штольни: 16, 32, 10, 42, 31 и 27. Штольни 16 и 32 расположены на самом нижнем (720 м) горизонте, куда отводятся все шахтные воды рудника. Строительство подобного объекта на 720-м горизонте будет затруднено, ввиду сложных гидрологических условий. Штольня 27 располагается на горизонте 880 м, в довольно нестабильных милонитизированных породах, склонных к самообрушению. Таким образом, приоритетным вариантом можно считать штольни 10 (780 м), 42 (815 м) и 31 (850 м). Перечисленные выработки пройдены в прочных гранитных породах, имеют подъездные дороги, а устья находятся в непосредственной близости к Бештаугорской кольцевой дороге.

Основной сложностью проектирования и строительства подземного радонового эманатория является то, что в нашей стране отсутствует опыт строительства подобных объектов.

Укрупненно рассмотрим основные этапы проектирования, строительства и последующей эксплуатации радонового эманатория, на которые, на наш взгляд, следует обратить особое внимание. На начальном этапе необходимо выбрать подходящую неэксплуатируемую штольню рудника, учитывая ряд факторов:

- радиационные характеристики, позволяющие реализовать проект эманатория, требования к которым рассмотрены выше;

- месторасположение потенциального входа в будущий эманаторий и пути (способы) подхода к нему;

- результаты предварительного строительно-технического обследования состояния штольни.

После выбора наиболее подходящей штольни для размещения эманатория требуется проведение ее комплексного детального обследования. В процессе выполнения радиационно-экологических исследований, а также в дальнейшем, на стадии строительства и эксплуатации, необходимо организовать постоянный мониторинг радиационно-экологического состояния объекта.

Учитывая, что гора Бештау является Памятником природы краевого значения [11], строительство радонового эманатория необходимо запроектировать и выполнить с исключением негативного воздействия на природную среду на поверхности горы. Также следует отметить, что территория КМВ относится к территориям с высокой сейсмической активностью, таким образом, проектирование эманатория должно выполняться с соблюдением всех требований к сейсмостойкому строительству [16]. Следовательно, проектная организация должна учитывать одновременно два сложных природных фактора: высокую сейсмичность территории и высокий радиационный фон внутри потенциального эманатория, который за счет принятых проектных решений необходимо снизить до значений, применяемых в лечебных целях.

При проектировании эманатория следует учитывать выявленные закономерности движения воздуха в системе горных выработок, обусловленные естественной конвекцией. Для стабилизации и дальнейшего регулирования концентрации радона в штольнях необходима изоляция части рудничного пространства, занимаемого эманаторием от остального объема рудника.

При эксплуатации лечебного радонового комплекса на горе Бештау процесс регулирования концентрации радона в подземных галереях эманатория может осуществляться с помощью компьютеризированной системы приточной и вытяжной вентиляции с интегрированными альфа-радиометрическими датчиками. Управление объемной активностью в воздухе возможно за счет нагнетания свежего воздуха с дневной поверхности при высоких концентрациях внутри эманатория, а при недостаточных концентрациях — нагнетанием излишков рудничного воздуха через систему шлюзов из отдаленных участков штольни, например, в зимний период.

Для разработки конкретных проектных решений для организации эманатория необходимо углубленное изучение режима воздухообмена в бывшем урановом руднике с организацией длительного мониторинга радона на устьях штолен, а после специальной инженерной подготовки — непосредственно в подземных горных выработках.

## ВЫВОДЫ

В целях организации первого в России подземного радонового эманатория были проведены исследования закономерностей формирования радонового режима штолен отработанного Бештаурского уранового рудника.

В результате исследований установлены актуальные концентрации радона в штольнях рудника, а также значения мощности дозы гамма-излучения и плотности потока радона с поверхности грунта.

Выявлены сильные сезонные колебания концентрации радона в штольнях, характер и амплитуда которых зависят от абсолютной отметки устья штольни. Выявленные закономерности могут быть объяснены конвективной циркуляцией воздуха в системе горных выработок за счет перепада температуры между горным массивом и атмосферой.

Проведенные исследования показывают, что предпосылками для реализации проекта строительства подземного радонового эманатория являются достаточно высокие концентрации радона в устьях штолен [7, 8] и, соответственно, внутри штолен. Осложняющим моментом организации эманатория будут повышенные уровни гамма-излучения и нестабильность концентраций радона во времени из-за конвективной циркуляции воздуха

в системе горных выработок. Однако эти проблемы могут быть успешно решены с помощью организации современной системы вентилирования помещений эманатория.

Практическое внедрение новых, уникальных для России, методов лечения пациентов в естественных эманаториях позволит в полной мере использовать бесценные рекреационные ресурсы региона Кавказских Минеральных Вод. Опираясь на анализ результатов современных радиометрических измерений на горе Бештау и зарубежный опыт, авторы пришли к выводу, что в настоящее время данный проект может быть реализован.

Создание первого на территории Российской Федерации полноценного подземного радонового эманатория позволит в значительной мере увеличить количество туристов, посещающих регион, что, без сомнений, благотворно скажется на экономике и рекреационном секторе края.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №24-27-00028 “Исследование механизмов переноса радона в проницаемых зонах земной коры на примере курортного региона Кавказские Минеральные Воды, обладающего уникальными радиационно-экологическими характеристиками. Мониторинг, математическое моделирование, прогнозирование”.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович С.Г., Адилев В.В., Антипенко П.В.* Радоновые ванны / Под ред. Г.Н. Пономаренко. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 854 с.
2. *Бекман И.Н.* Радон: враг, врач и помощник. М.: МГУ, 2000. 205 с.
3. *Боголюбов В.М., Гусаров И.И.* Итоги и перспективы развития радонотерапии в СССР // Вопросы курортологии и физиотерапии. 1981. №1. С. 3.
4. *Гусаров И.И.* Радонотерапия. М.: Медицина, 2000. 199 с.
5. Курорты. Энциклопедический словарь / Глав. ред. Е.И. Чазов. М.: Советская энциклопедия, 1983. 592 с.
6. *Машковцев Г.А., Константинов А.К., Мизута А.К. и др.* Уран российских недр. М.: ВИМС, 2010. 850 с.
7. *Микляев П.С., Петрова Т.Б., Клишин А.В., Маренный А.М. и др.* Радиационная обстановка в районе горного массива Бештау // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2024. Т. 33. №2. С. 65–78.
8. *Микляев П.С., Петрова Т.Б., Щитов Д.В. и др.* Динамика выброса радона из штолен бывшего уранового рудника на склонах горы Бештау // АНРИ. 2022. №4 (111). С. 44–60.
9. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): Санитарные правила и нормативы. М: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 83 с.

10. *Панов С.В.* Комплексное лечение больных коксартрозом и гонартрозом с применением радонового эманатория: аттореф. дис. ... канд. мед. наук. Ульяновск: Ульяновск. гос. ун-т, 2011. 20 с.
11. Паспорт памятника природы краевого значения "Гора Бештау". Утвержден приказом министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края от 28.09.2015 №303 (в редакции приказа министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края от 01.11.2021 №501).
12. *Разумов А.Н., Гусаров И.И., Семенов Б.Н и др.* К 100-летию радонотерапии (часть II) // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2006. №1. С. 3–8.
13. *Разумов А.Н., Пурига А.О., Юрова О.В.* Современные возможности радонотерапии в медицинской реабилитации пациентов // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2015. Т. 92. №4. С. 54–60.
14. *Ренс В.Ф.* Биологические эффекты природных лечебных факторов и пути их модификации // Современные вопросы биомедицины. 2019. Т. 3. №2. С. 23–38.
15. Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009); Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
16. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*. М.: Стандартинформ. 164 с.
17. *Gottlieb L.* Die Wirkung und Anwendung der Joachimsthaler radioaktiven Grubenwässer // Zbl. Ges. Ther. 1995. Bd. 25. S. 169–173.
18. *Van der zee-neuen A., Strobl V., Dobias H. et al.* Sustained improvements in EQ-5D utility scores and self-rated health status in patients with ankylosing spondylitis after spa treatment including low-dose radon — an analysis of prospective radon indication registry data // BMC Musculoskeletal Disorders. 2022. V. 23. N 1. С. 1–8. DOI: 10.1186/s12891-022-05691-1.
19. *Zdrojewicz Z., Strzelczyk Ja.* Radon Treatment Controversy. Dose-Response. 2006. V. 4. Iss. 2. P. 106–118. <https://hdl.handle.net/20.500.14394/20465>

## PROSPECTS FOR CREATING A NATURAL RADON EMANATORIUM ON MOUNTAIN BESHTAU, CAUCASIAN MINERAL WATERS

**P. A. Sidyakin<sup>a, #</sup>, D. V. Shchitov<sup>a</sup>, D. N. Tsebro<sup>a</sup>, M. A. Murzabekov<sup>a</sup>, P. S. Miklyaev<sup>b, #</sup>,  
T. B. Petrova<sup>c, ###</sup>, N. I. Glukhova<sup>d, ####</sup>**

<sup>a</sup>*Pyatigorsk branch of the North Caucasus Federal University,  
ul. Ermolova 46a, Pyatigorsk, Stavropol region, 357500 Russia*

<sup>b</sup>*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences,  
Ulanskii per. 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia*

<sup>c</sup>*Lomonosov Moscow State University,  
Leninskie Gory 1, Moscow, 119991 Russia*

<sup>d</sup>*Sanatorium and resort complex Mashuk Aqua-Term,  
ul. Rodnikovaya 22, Inozemtsevo, Zheleznovodsk, Stavropol region, 357431 Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: sidyakin\_74@mail.ru*

<sup>##</sup>*E-mail: peterm7@inbox.ru*

<sup>###</sup>*E-mail: thp111@inbox.ru*

<sup>####</sup>*E-mail: direktor@sanatory-mashuk.ru*

The article considers the possibility of creating the first natural radon emanation facility in Russia on Mount Beshtau, Caucasian Mineral Waters. The most suitable places for creating a radon emanation facility are the adits located within the lower horizons of the uranium mine on Mount Beshtau. The studies have shown that the average radon volume activity range from 50 to 354 kBq/m<sup>3</sup> at the mouths of the lower adits, which is sufficient for creating an emanation facility. The values of radon flux density from the soil surface in areas of increased rock fracturing, which are likely to communicate with the mine space, reach values exceeding 8000 mBq/m<sup>2</sup>·s. The main recommendations for creating a radon emanation facility are presented. The creation of an emanation facility will help attracting new visitors to Caucasian Mineral Waters and will also make it possible to offer new medical services for treating a range of diseases.

**Keywords:** radon, radon emanation, radon volumetric activity, radon flux density, ambient dose equivalent rate

## REFERENCES

1. Abramovich, S.G., Adilov, V.V., Antipenko, P.V. [Radon baths]. Ponomarenko, G.N., Ed., Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2009, 854 p. (in Russian)
2. Bekman, I.N. [Radon: enemy, doctor and assistant]. Moscow, MSU Publ., 2000, 205 p. (in Russian)
3. Bogolyubov, V.M., Gusarov, I.I. [Results and prospects of the radon therapy development in the USSR]. *Voprosy kurortologii i fizioterapii*, 1981, no. 1, pp. 3. (in Russian)
4. Gusarov, I.I. [Radon therapy]. Moscow, Meditsina Publ., 2000, 199 p. (in Russian)
5. [Resorts. Encyclopedic Dictionary]. Chazov E.I., Ed.-in-Chief. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1983, 592 p. (in Russian)
6. Mashkovtsev, G.A., Konstantinov, A.K., Miguta, A.K. et al. [Uranium from Russian subsoil]. Moscow, VIMS Publ., 2010, 850 p. (in Russian)
7. Miklyaev, P.S., Petrova, T.B., Klimshin, A.V., Marenniy, A.M. et al. [Radiation situation in the Beshtau mountain range]. *Radiatsiya i risk*, 2024, vol. 33, no. 2, pp. 65–78. (in Russian)
8. Miklyaev, P.S., Petrova, T.B., Shchitov, D.V. et al. [Dynamics of radon release from the adits of a former uranium mine on the slopes of Mount Beshtau]. *ANRI*, 2022, no. 4 (111), pp. 44–60. (in Russian)
9. [Basic sanitary rules for ensuring radiation safety (OSPORB-99/2010): Sanitary Rules and Standards]. Moscow, Rospotrebnadzor Federal Center for Hygiene and Epidemiology, 2010, 83 p. (in Russian)
10. Panov, S.V. [Complex treatment of patients with coxarthrosis and gonarthrosis using radon emanation]. Extended abstract Cand. Sci. (Medical) diss. Ulyanovsk, Ulyanovsk state university, 2011, 20 p. (in Russian)
11. [Passport of “Mount Beshtau” natural monument of regional significance]. Approved by the order of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Stavropol Territory dated September 28, 2015 no. 303 (as amended by the order of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Stavropol Territory dated November 1, 2021, no. 501).
12. Razumov, A.N., Gusarov, I.I., Semenov, B.N. et al. [On the 100th anniversary of radon therapy (part II)]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kul'tury*, 2006, no. 1, pp. 3–8. (in Russian)
13. Razumov, A.N., Puriga, A.O., Yurova, O.V. [Modern possibilities of radon therapy in medical rehabilitation of patients]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kul'tury*, 2015, vol. 92, no. 4, pp. 54–60. (in Russian)
14. Reps, V.F. [Biological effects of natural healing factors and ways of their modification]. *Sovremennye voprosy biomeditsiny*, 2019, vol. 3, no. 2, pp. 23–38. (in Russian)
15. [Sanitary rules and regulations: SanPiN 2.6.1.2523-09. Radiation safety standards (NRB-99/2009): Sanitary and epidemiological rules and regulations]. Moscow, Rospotrebnadzor Federal Center for Hygiene and Epidemiology, 2009, 100 p. (in Russian)
16. [SP 14.13330.2018 Construction in seismic areas. Updated version of SNIIP II-7-81\*]. Moscow, Standartinform Publ., 164 p. (in Russian)
17. Gottlieb, L. Die Wirkung und Anwendung der Joachimsthaler radioaktiven Grubenwässer, *Zbl. Ges. Ther.*, 1995, no. 25, pp. 169–173. (in German)
18. Van der zee-neuen A., Strobl V., Dobias H. et al. Sustained improvements in EQ-5D utility scores and self-rated health status in patients with ankylosing spondylitis after spa treatment including low-dose radon — an analysis of prospective radon indication registry data. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2022, vol. 23, no. 1, pp. 1–8. DOI: 10.1186/s12891-022-05691-1.
19. Zdrojewicz, Z., Strzelczyk, Ja. Radon treatment controversy. *Dose-Response*, 2006, no. 4(2), pp. 106–118.