

## ДОЧЕРНИЕ ПРОДУКТЫ РАСПАДА РАДОНА – 222 В ВОЗДУХЕ КРЫМСКИХ ПЕЩЕР

**Г.Ф. Батраков\***, **А.Б. Назаров\*\***,  
**В.В. Семенов\***, **Э.В. Федорин\*\*\***

\*Морской гидрофизический институт  
НАН Украины

99011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: batrg@alpha.mhi.iuf.net

\*\*Севастопольский национальный университет  
ядерной энергии и промышленности  
99033, г. Севастополь, ул. Курчатова, 7

\*\*\*Севастопольская городская санитарно-  
эпидемиологическая станция  
99003, г. Севастополь,  
ул. Коммунистическая, 10

*Приведены результаты измерений концентраций дочерних продуктов распада радона-222 в Крымских пещерах Скельская и Красная. Установлено, что концентрации в точках измерений находились в пределах 4–2044 Бк/м<sup>3</sup>. Проведен анализ влияния различных факторов на изменения концентраций в воздухе пещер.*

**Введение.** Радон – 222 занимает особое место в окружающей среде. Он ответствен за 70% годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения, которую получает человек от земных источников радиации. Основную часть этой дозы человек получает от радона – 222 и дочерних продуктов его распада (ДПР), поступающих в организм вместе с вдыхаемым воздухом.

Рассматривая радон-222 и его дочерние продукты распада, обычно имеют ввиду только радон-222 и первые три члена в ряду его радиоактивных превращений, т.е. RaA (Полоний-218), RaB (Свинец-214) и RaC (Висмут-214), так как именно эти изотопы вносят определяющий вклад в естественную радиоактивность окружающей среды.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования показали, что имеет место практически полное приближение к радиоактивному равновесию для этих ДПР в нижней тропосфере. Только специальными исследованиями нижней тропосферы было установлено, что в ряде случаев имеют место заметные отклонения

от равновесных отношений для этой цепочки радиоактивного распада [5].

Известно [1,2,3], что шахты, метро, пещеры, подвалы и т.д. могут содержать повышенные концентрации радона – 222 и ДПР. Крымские пещеры Скельская и Красная являются объектами туристической деятельности. Ежегодно, особенно в летний период, эти пещеры посещают тысячи туристов. В связи с этим измерение концентрации радона – 222 и ДПР в этих пещерах представляет определенный интерес.

**Объекты исследования.** Пещера Скельская расположена на южном склоне отрога Ай – Петринского. Протяженность пещеры Скельская – 630 м. Перепад высот 65 м (от – 45 м до + 20 м). Площадь 1140 кв. м. Объем 11000 куб. м. Высота входа над уровнем моря 350 м. Вход представляет собой 30-метровый круто-наклонный сифонный канал, выводящий в коррозионно – гравитационную полость, образованную при раскрытии тектонического нарушения. Нижняя часть полости почти на 60 м заполнена глыбово-обломочным материалом, в котором до оборудования пещеры для экскурсионной работы имелось несколько узких проходов, выводящих в верхнюю часть. Она состоит из нескольких разделенных натеками залов. Узкие ходы в глыбовом навале, а затем в коренных известняках выводят в трещинно-сифонную систему, расположенную под Скельской котловиной. Пещера расположена в толсто-слоистых верхнеюрских известняках. В межень уровень подземных вод устанавливается на глубине 45 м от входа. Здесь известно несколько озер глубиной 30-40 м. В паводок уровень воды повышается, а при наложении весенних ливней на снеготаяние происходит излияние воды из пещеры. В верхней части пещеры имеются богатые натечные отложения (колонны), в нижней и средней частях находятся отсортированные водные механические отложения (галька, песок, глина). В пещере обнаружено богатое месторождение позвоночных голоценового возраста и обильная спелеофауна. В последние годы были открыты новые ходы, новые озера, галерея Когана, залы “За занавесом” и “На балконе”. Например, длина

галереи с Новым озером 70 м. Глубина этого озера также около 7 м в межень, ширина по урезу воды 2-3 м и с глубины 40 м ширина уменьшается, выклиниваясь с глубиной в непроходимую трещину. Скорость течения в озере в межень 0,5 м / час в сторону Скельского вклюдза. Температура воздуха в верхнем зале +15° С. В нижних галереях +12° С. Температура воды в озерах 7 – 9° С в зависимости от сезона. Подстилают пещеру верхнеюрские известняки, среднеюрские, нижнеюрские и триасовые флишоиды, заполняющие собой в том числе и выходы глубинных разломов, что, в той или иной мере, задерживает выход радона в карстовые полости вышележащих известняков.

Пещера Красная находится в юго-западной части Долгоруковского массива и заложена в толсто-слоистых верхнеюрских известняках. По генезису пещеру можно классифицировать как коррозионно-эрозионно тектоническую. Длина пещеры в настоящее время составляет более 20 км, объем более 200 тыс. куб. м. Пещера состоит из 6 этажей с перепадом высот 135 метров с первого этажа по шестой. По первому этажу течет подземная река. В целом пещера является практически законченной гидросистемой. На Долгоруковской яйле р. Суботхан уходит под землю в карстовую шахту "Провал" и выходит на дневную поверхность в виде родников на естественной плотине из хомогенного известнякового туфа. Затем, уже на краю плотины, ручьи собираются, образуя водопад Учхан-Су. И далее, формируя текущую по дневной поверхности р. Кизил Кобинку, которая, впоследствии слившись с ручьем Алешина, вытекающим из одноименной пещеры и принимая по ходу течения другие ручьи и реки, образует реку Салгир. Собственно в пещере температура воды в реке колеблется от 7,2° С до 9,5° С в зависимости от места и времени года. В пещере в настоящее время имеются 6 полуоткрытых сифонов, 1 – й от входа в паводок закрывается. Это периодически частично прерывает единую циркуляцию воздушных потоков. Температура воздуха в пещере в зависимости от сезона и

места варьирует в пределах 9,2°С–9,5°С, относительная влажность воздуха 98-100%. Пещера имеет два входа, нижний-Хаанлых Коба и верхний, соответствующий 5-му этажу пещеры Иель-Коба. Абсолютная отметка входа над уровнем моря 600 м. Пещера Красная расположена вдоль регионального разлома, продолжением которого является Салгирская эрозионно – тектоническая депрессия, выполненная нижнемеловыми аргиллитами, алевролитами и песчаниками, под которые ступенчато погружаются титонские известняки Долгоруковского массива.

**Методы исследования.** Для измерения концентрации дочерних продуктов распада радона – 222 использовались приборы: РВ – 4 №7085, поверенный в Севастопольском центре стандартизации и метрологии, и РРА – 01М – 03 №04401, поверенный в Национальном научном центре «Институт Метрологии».

**Результаты и их обсуждение.** Измерения концентрации ДПР в пещерах Скельская и Красная были проведены в 6 точках. Точки были распределены примерно равномерно по всей площади каждой пещеры. В пещере Красная измерения в одних и тех же точках были проведены дважды с интервалом в 10 месяцев (Таблица). В этих же точках проводились измерения мощности поглощенной дозы, которая находилась в пределах 5 – 12 мкр/час. Средние значения концентрации дочерних продуктов распада радона – 222 в пещере Красная (853 Бк/м – 10.08.04 г., 727 Бк/м – 13.04.05 г.) почти в два раза превышали концентрации в пещере Скельская (448 Бк/м). В пещере Скельская концентрации были распределены по всей площади достаточно равномерно (Рисунок). В пещере Красная концентрации в некоторых точках отличались более чем в 40 раз. Такие различия в концентрациях обусловлены составом пород и являются вполне естественными. На Земле имеются достаточно большие площади (например, в 200 км от города Сан-Паулу в Бразилии), где уровень земной радиации превосходит средние значения в 800 раз.

Таблица – Концентрация ДПР в атмосфере пещер

Пещера Скельская		Пещера Красная		
Расположение Точек	Концентрация, Бк/м <sup>3</sup>	Расположение точек	Концентрация, Бк/м <sup>3</sup>	
	16.06.07г.		10.08.04г.	13.04.05г.
0.В 20 м от входа в пещеру	5	0.В 20 м от входа в пещеру	5	5
1.Входной коридор	361	1.Привходовой зал	44	30
2.У входа в Новые озёра	317	2.Зал Гнома	113	1027
3.Дельфинный зал	470	3.Старая речка	549	628
4.Рыцарский зал	620	4.Академический зал	1041	1098
5.Рыцарский зал, ванночки	422	5.Пантюхинский дворик	2044	940
6.Смотровая площадка	470	6.Площадка в сифонном озере	1326	638

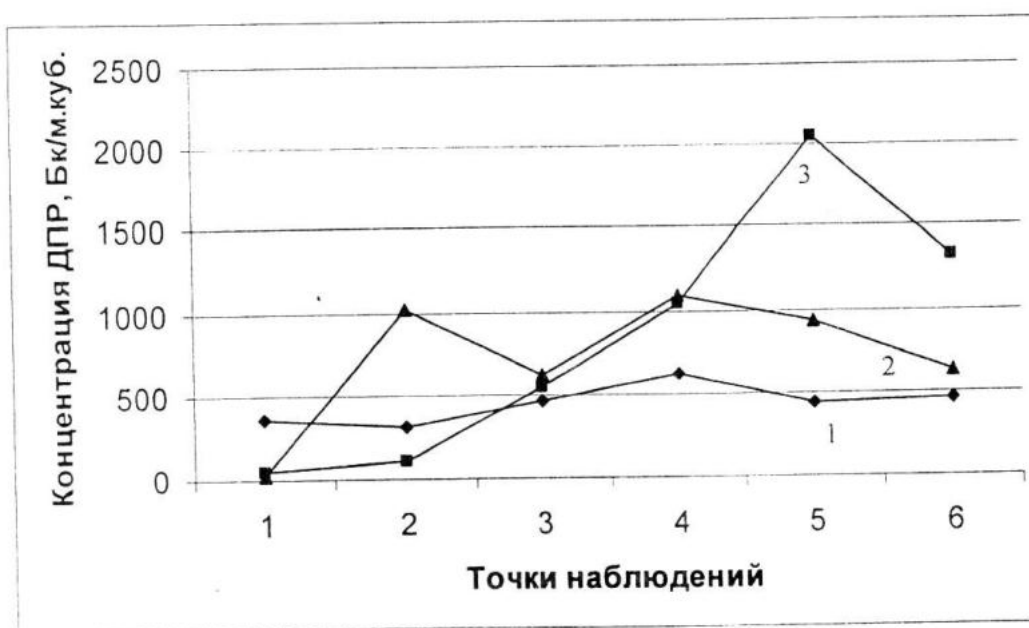


Рисунок – Распределение ДПР в пещерах (1 – Скельская; Красная: 3 – 10.08.04, 2 – 13.04.05)

Содержание ДПР в воздухе пещеры Красная измерялось дважды, в разное время года, но в одном и в другом случаях при закрытом 1 м сифоне. Эти измерения показали весьма заметную корреляцию в некоторых точках содержания ДПР с лунными приливными явлениями. Когда луна над массивом – концентрация ДПР практически в два раза выше, чем когда луна под массивом, при этом на дневной поверхности у входа в пещеру содержание ДПР в воздухе остается практически неизменным (5 Бк/м<sup>3</sup>).

Сравнительный анализ концентрации радона – 222 и ДПР в атмосфере пещер Скельская и Красная показал следующую особенность их поведения. Медленный, слабо реагирующий на приливные явления выход глубинных газов в пещеру Скельская, обусловлен тем, что Верхне Юрские слоистые известняки северо-западной части Ай-петринского массива подстилает многокилометровая толща Средне-Юрских глубоководных флишоидов таврической серии. Чёткая же реакция выходов радона – 222 в полости пещеры Красная на приливные явления (концентрация изменяется почти в два раза) обусловлена тем, что пещера Красная расположена на молодом региональном разломе.

**Заключение.** Одна из основных задач при изучении пещер заключается в оценке их радиационной безопасности. Такая оценка, прежде всего, необходима для часто посещаемых пещер. По данным измерений содержание радона - 222 в пещерах СНГ изменяется в очень широких пределах от 16

до 69100 Бк/м<sup>3</sup> [2]. Самая высокая концентрация радона имеет место в пещере Геофизическая на хребте Кугитанг (Туркменистан), которая составляет 69110 Бк/м<sup>3</sup> [2]. При такой концентрации пороговое время экспозиции для получения допустимой годовой дозы для персонала не должно превышать 23 часа. В пещере Красная максимальное значение концентрации ДПР составляет 2044 Бк/м<sup>3</sup> (в пещере Скельская концентрация значительно ниже). При такой концентрации пороговое время экспозиции для получения допустимой годовой дозы не должно превышать 780 часов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Радиация. Дозы, эффекты, риск. – Москва: Мир, 1988. – 80 с.
2. А.Б. Климчук, В.М. Наседкин. Радон в пещерах СНГ. // Вестник Киевского карстолого-спелеологического центра. – 1992. – № 4(6). – С. 21–35.
3. А.Я. Яфасов, В.А. Акимов. Тектонический фактор в формировании радоновых полей в атмосфере Ташкентского метрополитена. // Атомная энергия. – 2001. – Т. 90, вып. 2. – С. 117–121.
4. І.Л. Комов, П.І. Діденко, І.Ф. Шраменко, С.О. Галій. Радон у метрополітені м. Кисва. // Геохімія і екологія. Сб. наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України. – Кисв. – 2004. – Вып. 10. – С. 91–99.
5. С. Rangarajan, С.Д. Eapen. <sup>214</sup>Bi/<sup>214</sup>Pb activity ratios in the atmosphere // J. Geophys. Res., vol. 86, № С4, 1981. – P. 3194–3198.