

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА РАДОНА С ВОДНЫХ И ГРУНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

**Подымов И.С., Подымова Т.М.**

*Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
г. Геленджик, Россия. e-mail: podymov@coastdyn.ru tpodymova@inbox.ru*

### **Введение**

Исторически вредное влияние естественной радиоактивности воздуха на человеческий организм было замечено еще в XVI веке, когда таинственная «горная болезнь» шахтеров привлекла внимание медиков: смертность от заболеваний легких среди рудокопов некоторых шахт Чехии и Германии была в 50 раз выше, чем среди прочего населения. Причина этого была объяснена уже в наше время – в воздухе шахт была высокая концентрация радона.

Предположения о вредном воздействии радона на живые организмы возникли в конце 1960-х годов, когда американские специалисты обнаружили его повышенные концентрации в воздухе жилых одноэтажных помещений. Очень часто концентрация превышала уровень, считающийся опасным даже для рудников. В 1986 году Рейган впервые ввел программу радонового контроля, которая по настоящее время является национальной программой защиты населения США. Позже Международной комиссией по радиологической защите были введены нормативы радонового загрязнения для существующих и проектируемых зданий, а также предельно допустимые концентрации радона в окружающей атмосфере. В нашей стране до настоящего времени «радоновая проблема» остается, фактически, лишь сферой интересов специалистов в области радиометрии.

По оценке Научного Комитета ООН по действию атомной радиации, радон, вместе с дочерними продуктами радиоактивного распада, ответственен, примерно, за 75% естественной дозы облучения человека.

### **Предыстория радоновых исследований на Тамани**

В 2011 году, когда произошла Таманская природная аномалия [4], поверхность моря была покрыта белой пеной в месте выхода на поверхность морского дна. А спустя 8 месяцев мы наблюдали, как вдоль прибрежной полосы длиной 20 км рыба выбрасывалась на берег. Берег был усеян толстым слоем мертвой рыбы. К сожалению, мысль о возможном радоновом загрязнении пришла гораздо позже...

Радон – радиоактивный газ, который эманурует радий. При распаде радона образуются твердые радиоактивные изотопы полония, свинца и висмута, называемые «активным налетом». Они, в свою очередь, являются вторичными альфа, бета и гамма излучателями. Радон хорошо растворим в воде. Если в организм попадает вода (или пища) зараженная радоном, биологический организм погибает. Повышенная концентрация радона в воздухе вызывает ожог легких «активным налетом». Механизм же разрушения биологических организмов растворенным радоном изучен слабо.

В избыточных количествах радон выбрасывается при подвижках тектонических плит. Повышенная объемная концентрация радона в воздухе является индикатором наличия тектонических разломов, проникающих на глубины в десятки километров. Мониторинг радонового фона во многих странах используется для прогнозов изменения напряженно-деформированного состояния земной коры.

Во время анализа последствий произошедших на Тамани событий возникло предположение о возможном выбросе большого количества радона в бассейн Азовского моря и в атмосферу. Такое предположение возникло в связи с тем, что глубинный Керченско-Таманский разлом проходит по дну Азовского моря, захватывая Керченский пролив. Подвижка

тектонических плит в апреле 2011 года могла спровоцировать выброс радона. А растворенный в воде радон мог вызвать отравление рыбы, гибель которой произошла спустя 6-8 месяцев.

Анализ результатов предварительных наблюдений поставил задачу исследования взаимодействия экосистем региона и населения, а также прогноз чрезвычайных ситуаций локального характера.

### **Аппаратура для проведения измерений**

В настоящее время существует несколько методов измерения концентрации радона в исследуемых материалах. Для исследований выбран метод измерения удельной активности радона, основанный на использовании циркуляционного способа перевода смеси радона и воздуха из свободного объема емкости с пробой в рабочую камеру измерительного блока. Для этого в США были закуплены радоновые детекторы серии Pro, модель HS71512. На основе приборов изготовлены лабораторные и полевые стенды. В статье рассмотрен только лабораторный стенд, структура которого приведена на рис. 1.

В соответствии с требованиями методики измерений последовательность действий при лабораторных исследованиях включает следующие этапы. Образец пробы помещается в емкость для пробы 3 (рис. 1) и выдерживается 2 часа. Далее включается детектор радона в рабочей камере 1 и циркуляционная помпа 2, осуществляющая 15 минутную прокачку смеси воздуха и радона через соединенные между собой герметичные контейнеры 1 – 4. Детектор радона не выключается до конца измерений. Через сутки цикл работы помпы повторяется. Еще через сутки производится отсчет показаний детектора радона. Т.е., полный цикл измерения радоновой активности одного образца пробы занимает по времени, примерно, двое суток. Режимом работы насоса управляет запрограммированный суточный таймер 5. Помпа прокачивает воздух со скоростью 2 л/мин. В контейнере 4 размещен осушитель ( $\text{CaSO}_4$  с 3%  $\text{CoCl}_2$ ). Силикагель и активированный

уголь не используются, т.к. они являются интенсивными поглотителями радона.



**Рис. 1.** Лабораторный стенд для исследований удельной активности радона в образцах проб. Здесь: 1 – рабочая камера измерительного блока; 2 – циркуляционная помпа; 3 – емкость для пробы и барботер; 4 – осушающий модуль; 5 – суточный таймер управления насосом.

В зависимости от типа пробы, прокачиваемая смесь воздуха и радона подается в емкость для пробы 3 через распылитель определенной конструкции. Распыление – важный фактор методики измерения. При движении пузырьков воздуха через водный раствор создается значительная поверхность раздела жидкой и газовой фаз, что способствует интенсивному выделению радона из жидкости. Из верхней части барботера радон поступает в измерительную камеру 1 радиометра через соединительные трубки и осушающий модуль 3.

Временные интервалы рабочего цикла лабораторного стенда обусловлены временем полураспада  $^{222}\text{Rn}$  (радона) и  $^{220}\text{Rn}$  (торона). Контейнеры 1, 2 и соединительные трубки выполнены из винила. Контейнеры 3 и 4 – из стекла. Внутренние поверхности крышек контейнеров 3 и 4 имеют виниловое покрытие.

## Методы анализа

Характеристикой основного источника атмосферного радона и его изотопов является плотность их потоков с подстилающих поверхностей (земли, воды и т.п.). По показаниям радиометра на стенде рассчитывалась концентрация радона в пробах и плотность потока радона с единицы поверхности. Далее, по модели переноса изотопов радона и продуктов их распада в атмосферу [2], полученная плотность потока пересчитывалась в распределенную в пространстве объемную активность радионуклидов.

## Обработка результатов измерений

Удельная активность радона (концентрация) в образцах проб рассчитывалась по формуле (1), плотность потока радона с поверхности – по формуле (2) [3].

*А) Вычисление удельной активности радона в воде*

$$Q_{\text{п}} = \left( Q \cdot \left( \alpha + \frac{V_2}{V_1} \right) - Q_{\text{ф}} \cdot \frac{V_2}{V_1} \right) \cdot \exp(\lambda \cdot t), \quad (1)$$

где  $Q_{\text{п}}$  – удельная активность радона в пробе, Бк/м<sup>3</sup>;  $Q$  – объемная активность радона (ОАР) по показанию прибора как единичный замер или средний результат нескольких замеров, Бк/м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{ф}}$  – фоновая ОАР стенда, Бк/м<sup>3</sup>;  $V_1$  – объем пробы в пробоотборнике, м<sup>3</sup>;  $V_2$  – свободный объем рабочей камеры, м<sup>3</sup>;  $t$  – время выдержки образца пробы в емкости для пробы до начала измерения, с;  $\lambda$  – постоянная распада <sup>222</sup>Rn, с<sup>-1</sup> ( $\lambda = 2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot \text{с}^{-1}$ );  $\alpha$  – коэффициент растворимости радона в воде ( $\alpha = 0.1057 + 0.405 \cdot e^{-0.0502t^{\circ}}$ );  $t^{\circ}$  – температура образца пробы, °С.

*Б) Вычисление удельной активности радона в грунте* производилось по приведенной выше формуле (1). Коэффициент  $\alpha$  принимался равным 1. В конечных расчетах объем переводился в вес с учетом плотности материала. Искомая величина выражается в массовых единицах – Бк/кг.

*В) Вычисление плотности потока радона с поверхности.*

$$q = \left( Q \cdot \left( \alpha + \frac{V_2}{V_1} \right) - Q_{\Phi} \cdot \frac{V_2}{V_1} \right) \cdot \exp(\lambda \cdot t) \cdot \frac{V_1 + V_3}{T \cdot S}, \quad (2)$$

где, в дополнение к приведенным выше обозначениям,  $q$  – плотность потока радона с единицы поверхности, Бк·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>;  $V_3$  – суммарное значение свободных объемов емкости для пробы, камеры циркуляционной помпы, модуля осушителя и соединительных трубок, м<sup>3</sup>;  $T$  – суммарное время работы циркуляционной помпы за время измерения, с;  $S$  – площадь поверхности исследуемого образца, м<sup>2</sup>. Если исследуемый образец представляет собой твердую фракцию, коэффициент  $\alpha$  в уравнении (2) принимается равным 1.

В дальнейшем получаемая с образцов проб плотность потока радона пересчитывалась в распределенную в пространстве объемную активность радионуклидов по модели переноса изотопов радона и продуктов распада в атмосферу.

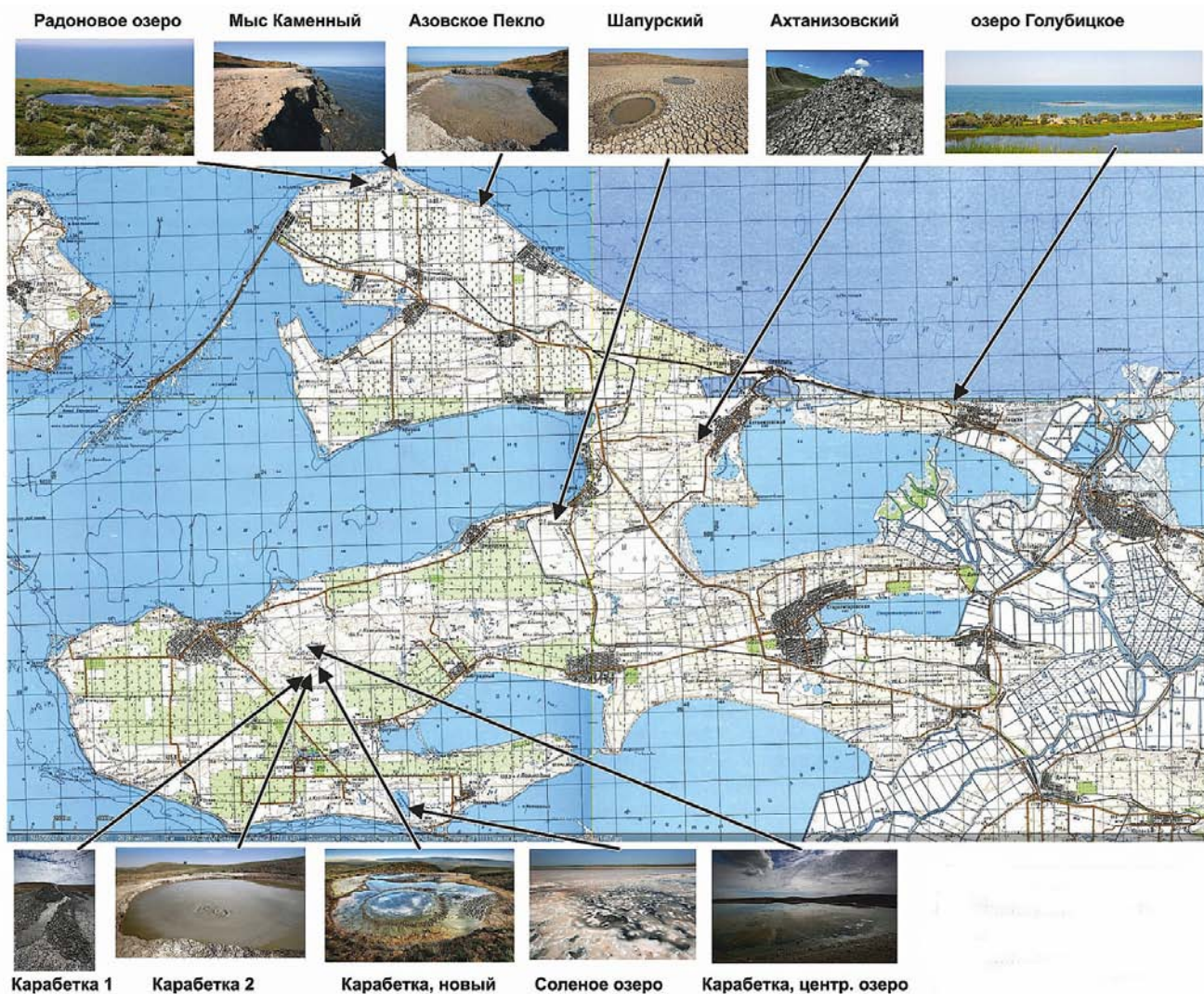
*Погрешность измерений.* По существующим источникам [1] оценочная относительная погрешность циркуляционного метода измерения объемной активности радона не превышает 30%.

## Результаты исследований

Высокая трудоемкость и стоимость проведения радоновых исследований не позволили охватить большое количество территорий Таманского полуострова, т.к. исследования по этой теме были начаты лишь во второй половине 2013 года. Однако первые полученные результаты требуют обратить серьезное внимание на радоновый потенциал территорий Тамани с целью последующих оценок радиационного риска для населения.

На рис. 2. показаны места отбора проб для исследований на радон, а на рис. 3 – графические результаты численных расчетов вертикального распределения объемной активности изотопов радона и продуктов их распада в атмосфере над поверхностью исследованных участков.



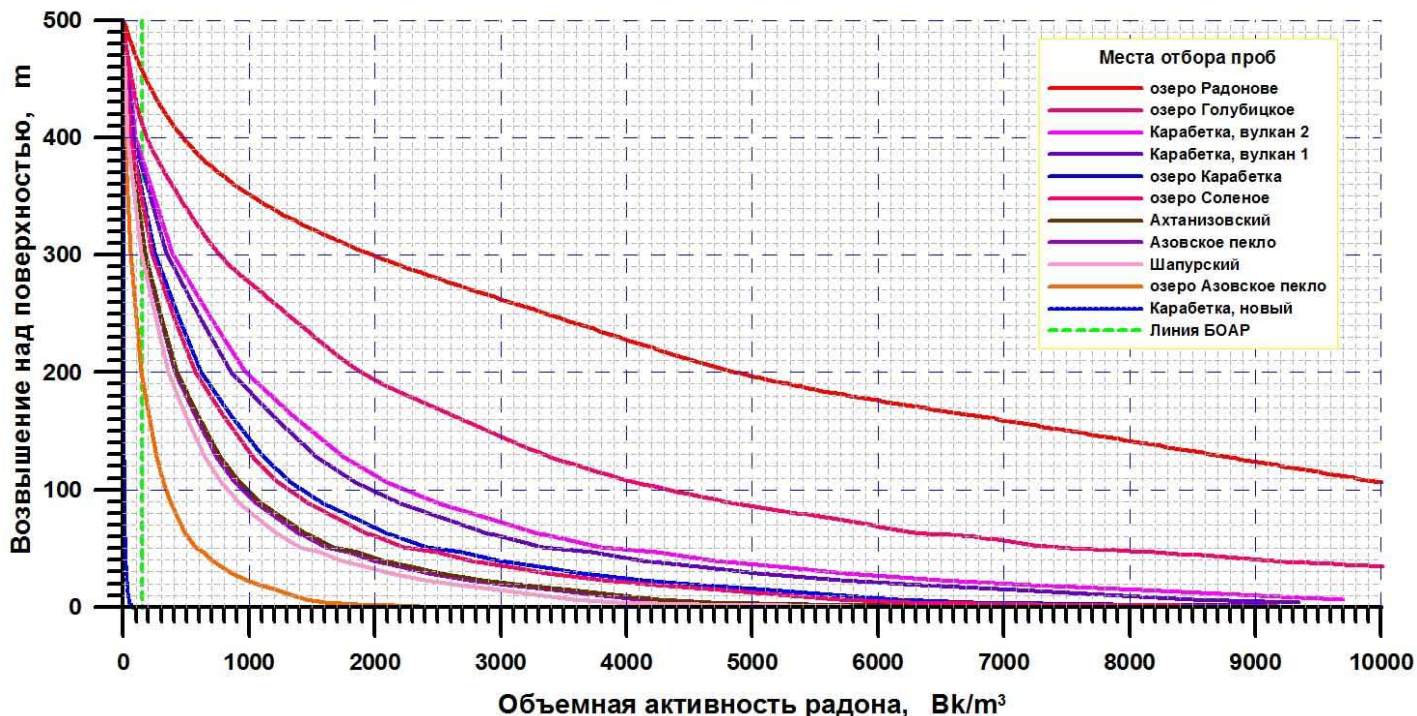


**Рис. 2.** Места отбора проб на Таманском полуострове для исследований на радон.

При расчетах, результаты которых показаны на рис. 3, использована модель для стационарного случая с постоянными коэффициентами [2]. Расчеты справедливы для поверхностей, стремящихся к бесконечности. В реальности вертикальное распределение объемной активности радона зависит от многих факторов. В частности, от состояния атмосферы – температуры, ветра, градиентов давления и т.п. Поэтому на удалении от поверхностей реальные параметры могут сильно отличаться от расчетных значений. В первую очередь это касается локализованных излучающих поверхностей типа кратеров грязевых вулканов или небольших озер. Не смотря ни на что нужно осознавать, что непосредственно над зараженной



поверхностью величина объемной активности радионуклидов близка к расчетным значениям и не зависит от площади поверхности.



**Рис. 3.** Графики распределения объемной активности радона над поверхностью исследованных участков Таманского полуострова. БОАР – зеленая линия безопасной объемной активности радона.

Плотность потока радона с поверхности грунта является критерием потенциальной опасности территорий. На основе построенных карт радоноопасности производятся оценки доз облучения населения и радиационных рисков. По существующим международным нормам величина плотности потока радона  $80 \text{ мБк/м}^2\text{с}$  считается безопасной. Согласно этому нормативу среднегодовая эквивалентная объемная активность радона в воздухе не превысит  $150 \text{ Бк/м}^3$ . Проведенные исследования на Таманском полуострове говорят о существенном превышении допустимых норм (рис. 3). Особое беспокойство вызывает поселок Приазовский, находящийся в непосредственной близости от Радонового озера. Объемная активность радона над поверхностью озера приближается к  $80000 \text{ Бк/м}^3$ . Это означает, что радоновые ванны в озере принимать можно, но органы дыхания должны быть защищены.



## Выводы

Актуальность мониторинга радона в Таманском регионе обусловлена сложной геологической структурой, а также наличием глубинного Керченско-Таманского разлома.

Предварительные оценки радоноопасности территорий показывают на необходимость проведения дальнейшего детального картирования Таманского полуострова.

В связи с большими сезонными вариациями измеряемой величины (до 10 раз), для повышения достоверной вероятности наблюдений, необходимо проводить непрерывный стационарный мониторинг объемной активности изотопов радона в нескольких пунктах. Пункты радонового мониторинга одновременно могут служить для прогнозов изменения напряженно-деформированного состояния земной коры.

Полученные результаты важны для оценки состояния окружающей среды региона, предотвращения и ликвидации загрязнений.

Исследования проводятся в рамках проектов Российского фонда фундаментальных исследований (12-05-00946 и 13-05-96508) и Российского Научного Фонда (14-17-00547).

## Литература

1. Андреев А.И., Чекунаев В.В. Экспериментальные исследования содержания радона в воде из подземного источника // Томск: Вестник ТОГУ, 2012. Т. 26. №3. С. 123-130.
2. Яковлева В.С. Методы определения объемной активности изотопов радона и продуктов распада в воздухе. Томск: ТПУ, 2010. 119 с.
3. Яковлева В.С. Методы измерения плотности потока радона и торона с поверхности пористых материалов. Томск: ТПУ, 2011. 174 с.
4. Igor Podymov, Tatiana Podymova. Anomalous Natural Phenomenon at the Coastal Zone of Azov Sea // Global Congress on ICM. Lessons Learned to Address New Challenges (Proceedings of EMECS 10 Medcoast 2013 Joint Conference). Turkey, Ankara: Bizim Dijital Matbaa, 2013. Vol. 1. P. 655-664.