

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Аннотация. Работа посвящена решению задачи радонового картирования территорий Таманского полуострова в аспекте проблемы взаимодействия экосистем региона и населения. В процессе исследований разработан и внедрен в практику экспресс-метод расчета объемной активности радона по энергии короткоживущих дочерних продуктов распада радона в воздухе. Построена карта распределения объемной активности радона в приповерхностном слое прибрежной полосы Азовского и Черного морей, а также над всей поверхностью Таманского полуострова. Определены среднестатистические значения объемной активности радона для основной территории Тамани, в зонах тектонических нарушений и во время экстремальных событий.

Ключевые слова: Таманский полуостров, радон, объемная активность радона.

Раздел: (08) науки о земле.

Введение

Задачи, ориентированные на исследование взаимодействия экосистем региона и населения в аспекте современной проблемы экологической безопасности Азово-Черноморского побережья России, возникли после неординарного геологического события, произошедшего на Таманском полуострове в 2011 году. В ночь с 29 на 30 апреля, в районе мыса Каменный, произошло высокоамплитудное неотектоническое поднятие участка дна Азовского моря с захватом береговой полосы (рис. 1). Площадь зафиксированного поднятия составила около 10 га, амплитуда поднятия – более 5 м. [1]. В месте и во время произошедшего события поверхность Азовского моря была покрыта белой пеной.



Рис. 1. Мыс Каменный. Неотектоническое поднятие.

Проведенные наблюдения показали, что подъем морского дна обусловлен деформацией антиклинальной складки, т.к. поднятие было сложено из коренных пород, а не из продуктов извержения грязевого вулкана. Породы подверглись значительным деформациям и залегали под углом до 80° , как на поверхности поднятия, так и в абразионном уступе (рис. 2).



Рис. 2. Мыс Каменный. Фрагмент поднявшегося морского дна.

Сейсмические разрезы, выполненные на подводном продолжении поднятия, зафиксировали аномалии, связанные с миграцией глубинных флюидов. Флюидизация разреза подтвердилась высокими значениями эманации радона из недр. Замеры объемной активности радона в надпочвенном воздухе в районе поднятия показали значения до 80000 Бк/м^3 (при допустимой величине 150 Бк/м^3) [2].

Территория Таманского полуострова густонаселенна. В частности, в непосредственной близости от места произошедшего события находится поселок Приазовский. Для выявления возможного радиационного воздействия дочерних продуктов распада радона на население, было решено произвести картирование радоноопасности территорий Таманского полуострова.

Радон

Прежде чем приступить к изложению материалов исследований, считаем необходимым привести некоторую информацию о радоне. Это важно, чтобы понять причину выбора изотопа радона ^{222}Rn для дальнейших рассуждений.

Радон – радиоактивный газ, без цвета, без запаха. Самый тяжелый элемент нулевой группы периодической системы, единственный из благородных газов, не имеющий стабильных и долгоживущих изотопов. Имеет 3 природных изотопа.

Радон ^{222}Rn

Самый устойчивый из изотопов радона, входящий в семейство урана ^{238}U и являющийся непосредственным продуктом распада радия ^{226}Ra . Обычно название «радон» относят именно к этому изотопу. Имеет период полураспада 91,764 часов (3,8235 суток). Время распада 97% изотопа – 960 часов (20 суток).

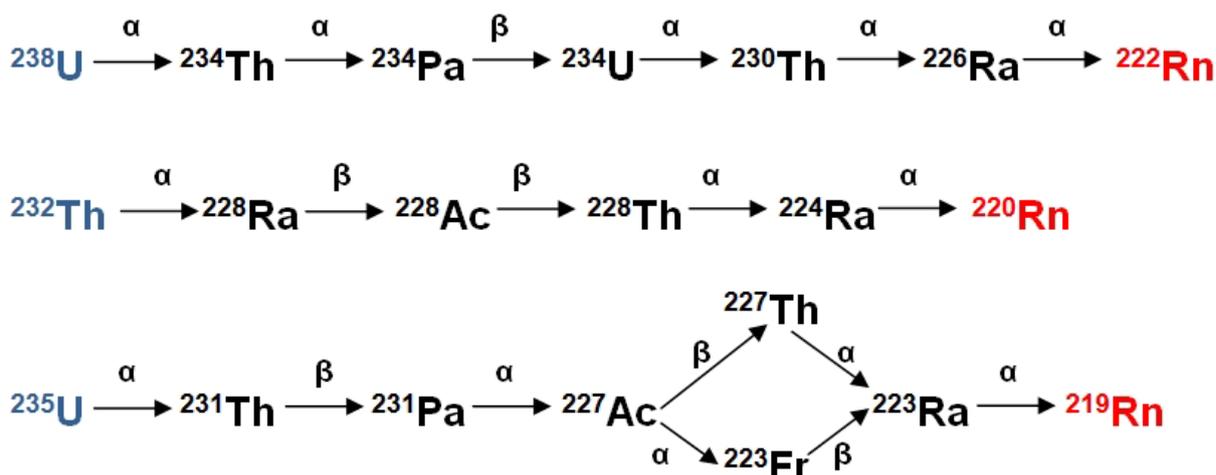
Торон ^{220}Rn

Торон открыт в 1900 году и представляет собой эманацию радиоактивного элемента семейства тория ^{232}Th . Является продуктом распада изотопа радия ^{224}Ra . Период полураспада 54,5 с, время 97% распада – 285,079 с.

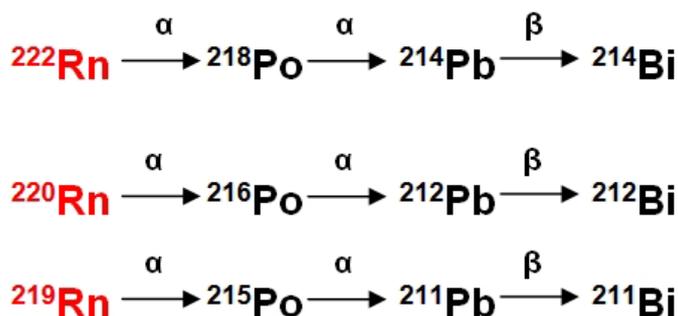
Актинон ^{219}Rn

Актинон открыт в 1903 году. Входит в семейство урана ^{235}U , в цепочку распада которого входит актиний ^{227}Ac и изотоп радия ^{223}Ra . Из природных – самый короткоживущий изотоп. Период полураспада 3,92 с, время 97% распада – 20,505 с.

Ниже показаны ряды превращений радиоактивных семейств урана и тория до момента образования изотопов радона.



Изотопы радона, испуская при распаде альфа-частицы, превращаются в твердые радиоактивные изотопы полония, свинца и висмута, именуемые «активным налетом». Продукты распада являются металлами и не имеют отношения к группе инертных газов. Линейные размеры свободных атомов металла составляют единицы нм и не могут долго находиться в атмосфере в свободном состоянии. При соприкосновении с нерадиоактивными аэрозолями, частицами пыли и дыма, капельками тумана и т.п. они образуют радиоактивные аэрозоли, размер которых увеличен на несколько порядков. Так выглядят упрощенные цепочки распада изотопов радона.



Как видно из схемы, продукты распада изотопов радона являются вторичными альфа и бета излучателями.

В избыточных количествах радон выбрасывается при тектонических деформациях. 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.

Из физических свойств изотопов радона (времени жизни, в частности) видно, что эманации актинона и торона не способны к миграции на сколько-нибудь заметные расстояния от ядер-предшественников. Поэтому во всех наших рассуждениях под объемной активностью радона подразумевается объемная активность изотопа радона ${}^{222}\text{Rn}$, в цепочку распада которого входят изотопы ${}^{218}\text{Po}$, ${}^{214}\text{Pb}$ и ${}^{214}\text{Bi}$.

Геологическая структура Таманского полуострова

Геологическая структура полуострова имеет сложный характер. В геотектоническом отношении Таманский полуостров является гетерогенным образованием, находящимся на стыке горных массивов Крыма и Кавказа. Именно это и предопределило выделение в регионе крупных тектонических структур первого порядка: замыкание мегантиклинорий Горного Крыма и Большого Кавказа, Индоло-Кубанский прогиб, межпериклиналиный Керченско-Таманский поперечный прогиб [3].

Активность тектонических процессов способствует дополнительной абразии береговой линии, а также созданию предпосылок возникновения экстремальных ситуаций в некоторых населенных пунктах прибрежной полосы.

Состояние земной поверхности Таманского региона характеризуется как напряженно-деформированное. К «срыву» защемленных друг с другом крыльев сейсмогенного разлома и следующего за ним землетрясения могут привести как нагрузки возрастающего напряжения, превысившие прочность пород, так и дополнительное внешнее воздействие (сейсмические волны от землетрясения в удаленном регионе; колебания земной поверхности, вызванные техногенным воздействием и т.п.). Интервал между землетрясениями, именуемый показателем «созревания» землетрясения, – является стабильной величиной при характерных для региона темпах тектонических подвижек и при отсутствии факторов дополнительного внешнего воздействия.

Начало маршрутным и мониторинговым исследованиям на Таманском полуострове было положено весной 2011 года. Сразу же после апрельских событий на мысе Каменный.

Натурные исследования

Исследования производились методом индикации естественных признаков проявления природных процессов. Для проведения лабораторных анализов осуществлялся отбор проб грунта, воды и брекчии. В процессе исследований использовалось современное высокоточное навигационное, радиометрическое и лабораторное оборудование, картографическое (лицензионное) программное обеспечение с топографическими картами.

В весенне-летний период 2011 года на территории Таманского полуострова выявлен ряд других аномалий:

- *Мыс Пекло с грязевым вулканом Азовское пекло.* Вулкан находится, примерно, в 5 км на востоке от мыса Каменный. Вулкан существенно поднялся над уровнем моря. И грязь из него ушла. На рис. 3 и рис. 4 показано, соответственно, состояние вулкана в 2010 году, и после подъема плиты (в мае 2011 года).



Рис. 3. Грязевой вулкан Азовское пекло. Июнь, 2010 г.



Рис. 4. Грязевой вулкан Азовское пекло. Май, 2011 г.

• *Грязевой вулкан Гнилая гора.* Вулкан находится в юго-восточном направлении на расстоянии около 40 км от мыса Каменный. После тектонических подвижек 2011 года, грязевая лава шириной до 15 м рекой изливалась из вулкана более 2-х месяцев (рис. 5). Т.е., этот участок земной поверхности опустился и выдавил большое количество грязи из глубинных слоев. Грязевая река пересекла проселочную дорогу и достигла территории городского кладбища г. Темрюк. Протяженность потока была длиной более 1 км.



Рис. 5. Грязевой вулкан Гнилая гора. Фрагмент грязевого потока. Май, 2011 г.

• *Гора Карabetка.* На восточном склоне горы Карabetка (в 30 км на юг от мыса Каменный) активизировался грязевой вулкан (рис. 6) в точке, обозначенной на топографических картах 2006 года как родник.

Все это говорит о том, что в 2011 году тектоническая активность на Таманском полуострове не была локальной и затронула большие территории полуострова.



Рис. 6. Грязевой вулкан на восточном склоне горы Карабетка.

Гипотеза причинно-следственной связи произошедших событий была высказана в [1]. Согласно гипотезе, развитие событий происходило в следующей последовательности. 11 марта 2011 года произошло 9 балльное землетрясение Tohoku. По данным «Центра мониторинга землетрясений США» [4], колебания земной коры с большой скоростью распространялись в широтном направлении (рис. 7).

11 Марта 2011г. Землетрясение Tohoku. $M = 8.9$

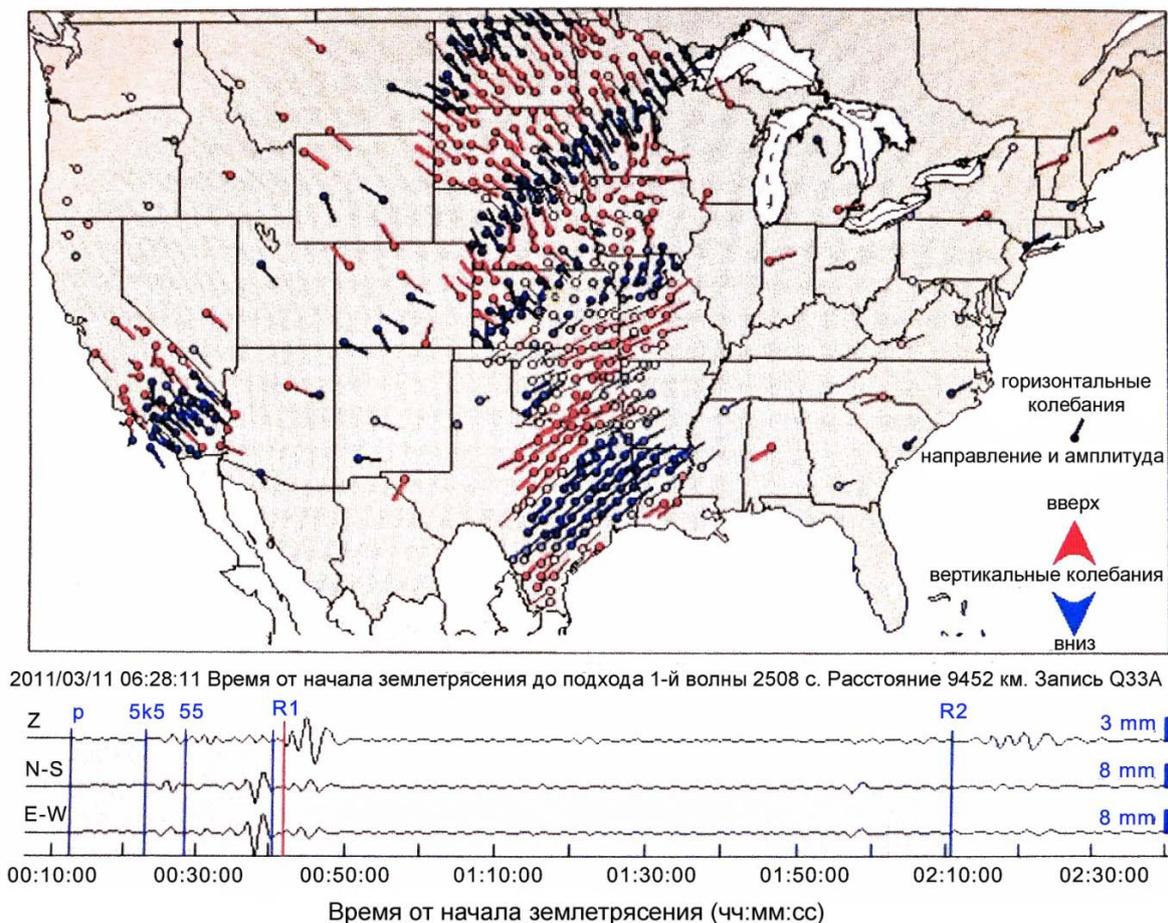


Рис. 7. Фрагмент 2,5 часовой записи колебаний земной поверхности на территории США с момента возникновения землетрясения Tohoku. По данным [4].

Во время первой волны землетрясения амплитуда колебаний земной поверхности в Таманском регионе превышала фон в 70 раз [5] (рис. 8). Возможно, что в результате резонансных процессов, возникших как эхо землетрясения, произошла разрядка накопившихся тектонических напряжений. Разрядка напряжений вызвала деформации антиклинальных складок, которые проявились в виде описанных выше аномалий. Произошедшие события не противоречат моделям Лоренса [6].

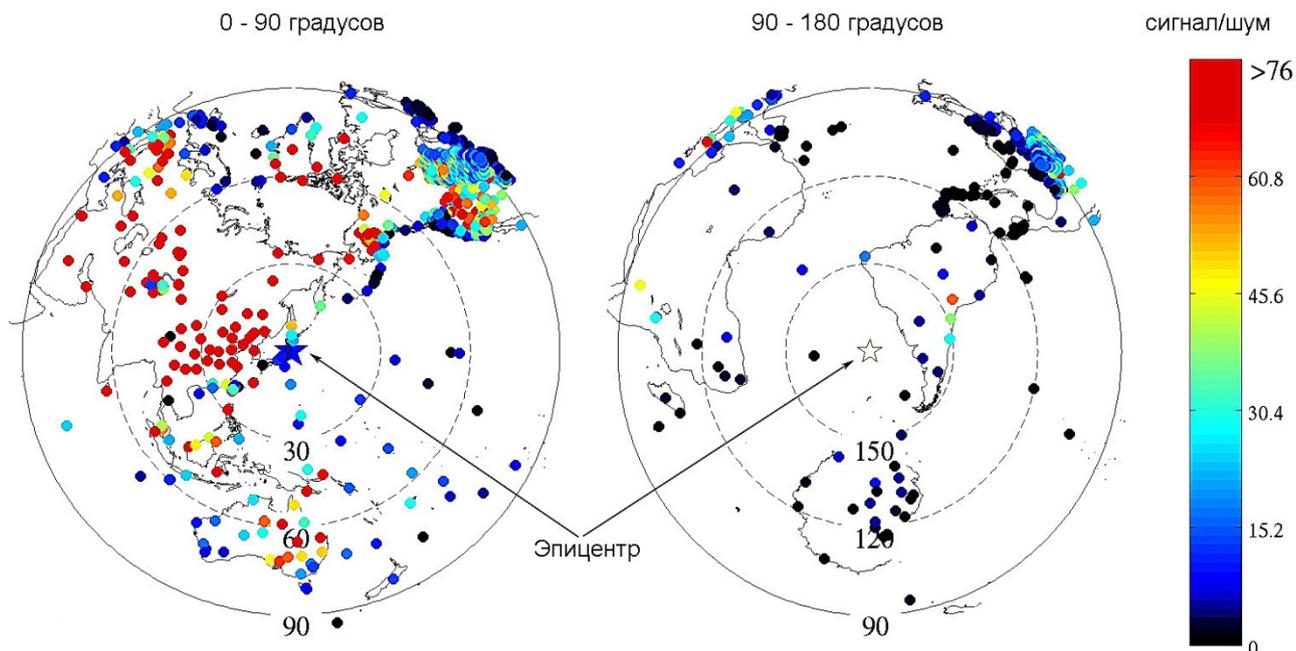


Рис. 8. Карта распространения колебаний земной поверхности в частотном диапазоне 0,3 – 1,0 Гц по всему земному шару от эпицентра землетрясения Tohoku [5]. Точки на карте – сейсмостанции. Амплитуда колебаний представлена в виде отношений сигнал/шум.

Черета аномалий 2011 года убедила нас в необходимости исследований радонового потенциала Таманского полуострова. На первом этапе был реализован метод лабораторного анализа отобранных в процессе натурных исследований проб. Однако высокая трудоемкость лабораторного метода не позволяла производить детальное радоновое картирование исследуемых территорий. Так возникла задача разработки экспресс-метода, который позволил бы произвести оперативную съемку объемной активности радона над исследуемыми поверхностями.

В основу экспресс-метода легло уравнение эквивалентной равновесной объемной активности радона для неравновесной смеси короткоживущих дочерних продуктов распада в воздухе [7]. Уравнение связывает величину скрытой энергии объемной активности радона с энергией распада дочерних короткоживущих продуктов. С помощью проведенных на стенде исследований найден коэффициент равновесия в уравнении, входным параметром которого является суммарная энергия распада дочерних короткоживущих продуктов, фиксируемая радиометром GMC-320, а выходным – объемная активность радона [8]. Радиометр фиксирует количество радиоактивных распадов для каждой минуты измерения. Классические же методы позволяют получить первые значения концентрации радона в воздухе не ранее, чем через сутки после начала измерений.

Тестирование экспресс-метода расчета объемной активности радона по энергии распада дочерних короткоживущих продуктов показало, что он достаточно точно повторяет результаты замеров, сделанных спектроскопическим методом. Графики изменения объемной активности радона за время лабораторного

эксперимента по показаниям спектроскопического измерителя концентрации радона и по модели показаны на рис. 9.

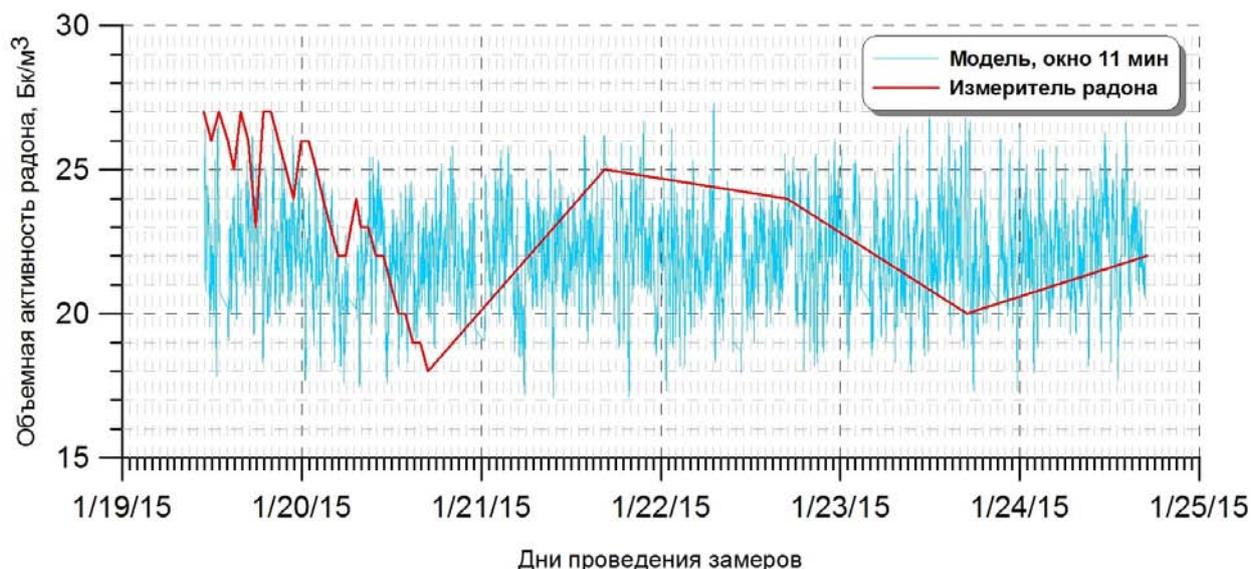


Рис. 9. Графики изменения объемной активности радона за время эксперимента.

Из графиков видно, что экспресс-метод позволяет на порядки увеличить скорость производства замеров и увидеть, какие изменения объемной активности радона происходят внутри временных интервалов, недоступных для исследований классическим методом. Радоновое картирование исследованных территорий Таманского полуострова выполнено описанным методом. Для картографической привязки данные радиометра в табличном виде присоединялись к данным навигационного оборудования.

Результаты натурных исследований

Построенная карта распределения объемной активности радона над поверхностью (в приземном слое 0-3 м) Таманского полуострова в весенне-летние периоды 2013-2015 г.г. представлена на рис. 10. Карта показывает, что значения повышенной концентрации радона сосредоточены вдоль антиклиналей исследованных территорий.

В численном выражении среднестатистические данные таковы:

- в «спокойный» период для 80% территорий Тамани значения объемной активности радона над поверхностью лежат в пределах 12-20 Бк/м³;
- в зонах тектонических нарушений они поднимаются до 100 Бк/м³;
- во время экстремальных событий (как пример, вышеупомянутое высокоамплитудное неотектоническое поднятие участка морского дна Азовского моря), в некоторых местах (поселок Приазовский, Радоновое озеро), объемная активность радона превышает 10000 Бк/м³.

Здесь следует отметить, что на полученные значения объемной активности радона наложен отпечаток «сезонности». В настоящее время проводятся исследования зависимости объемной активности радона в атмосферном воздухе от метеорологических параметров и от времени года. Но это уже отдельная работа. Результаты исследований разномасштабной изменчивости объемной активности радона в атмосферном воздухе будут готовы несколько позже.

В процессе натурных исследований производился мониторинг территории неотектонического поднятия. 4-х летние наблюдения позволили рассчитать показатель «созревания» землетрясений для этого участка Таманского полуострова. Он составил, примерно, 35-40 лет [1].

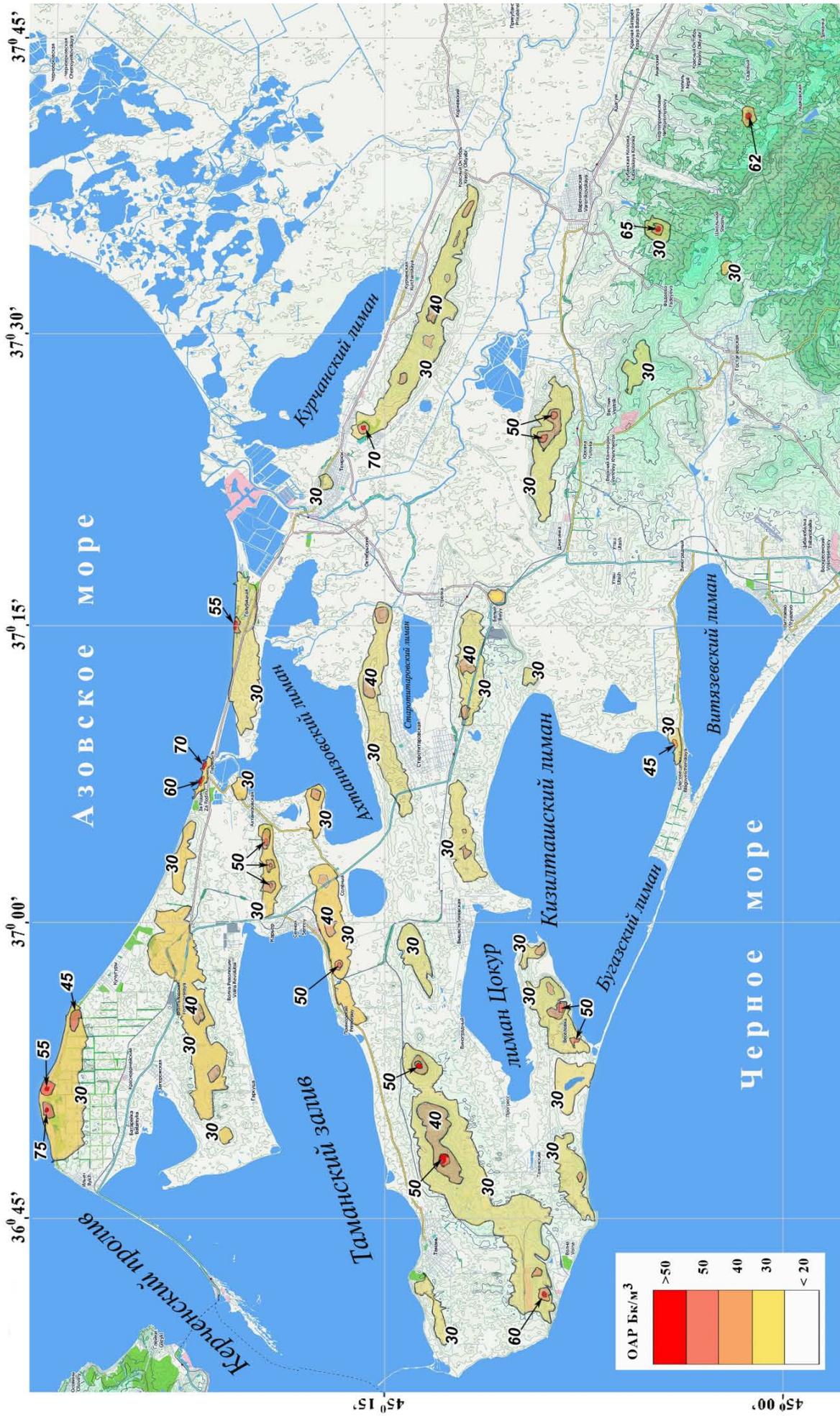


Рис. 10. Карта распределения объемной активности радона над поверхностью Таманского полуострова.

Выводы

Новообразованные структуры, возникшие в результате разрядки тектонических напряжений, являются индикаторами потенциальной опасности сложного геологического строения земной толщи в регионе. Именно этим обусловлена актуальность мониторинга радоновой обстановки.

Оценка радоноопасности территорий Таманского полуострова произведена впервые. Построенная карта распределения объемной активности радона над поверхностью Таманского полуострова позволит ориентироваться при выборе мест для ведения хозяйственной деятельности.

Экспресс-метод расчета объемной активности радона по энергии распада дочерних короткоживущих продуктов можно рекомендовать для оперативного радиологического мониторинга окружающей среды, прогнозирования и ликвидации загрязнения радионуклидами.

Проводимые исследования имеют особое значение в аспекте современной проблемы экологической безопасности Азово-Черноморского побережья России.

Исследования поддерживаются Российским Научным Фондом, проект 14-50-00095.

Ссылки на источники

1. Podymov I.S., Podymova T.M. 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. – Ankara, Turkey: Bizim Dijital Matbaa.– 2013. – Vol. 1. – P. 655-664.
2. Подымов И.С., Подымова Т.М. Исследование плотности потока радона с водных и грунтовых поверхностей Таманского полуострова // Материалы международного семинара «Экология прибрежной зоны внутренних морей». Геленджик, 3–6 июля 2014 г. – Геленджик: Интертехнологии, 2014. – С.41-49.
3. Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И., Науменко П.И., Кутний В.А. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. – Киев: Наукова думка, 1986. – 152 с.
4. The USArray GMV for M 8.9 Near East Coast of Honshu, Japan. – URL: <http://www.ds.iris.edu/spud/gmv/4841> (дата обращения: 10.01.2016).
5. Signal to noise ratio map for all BHZ data at IRIS 0.3 to 1.0 Hz. – URL: <http://www.ds.iris.edu/spud/eventplot/650555> (дата обращения: 10.01.2016).
6. Lawrence W. Braille. Seismic Waves and the Slinky: A Guide for Teachers. – URL: <http://www.web.ics.purdue.edu/~braille/edumod/slinky/slinky.pdf> (дата обращения: 14.04.2015).
7. Яковлева В.С. Измерение плотности потока радона и его изотопов с поверхностей. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 174 с.
8. Подымов И.С., Подымова Т.М. Экспресс-метод исследований объемной активности радона над поверхностью обитаемых территорий // Материалы научно-практической конференции «Пути решения проблемы сохранения и восстановления пляжей Крымского полуострова». Севастополь, 16 – 18 сентября 2015 г. – Севастополь: МГИ РАН, 2015. – С. 68-69.

I.S. Podymov, T.M. Podymova

THE DISTRIBUTION OF RADON VOLUMETRIC ACTIVITY ABOVE THE SURFACE OF TAMAN PENINSULA

Abstract. The work is devoted to solving the problem of radon mapping of the Taman peninsula as a problem of interaction between the region's ecosystems and population. An express method of calculating the radon volumetric activity for decay energy of secondary products designed and implemented. Data of the 3-year's field investigations allowed us to plot the map of distribution of radon volumetric activity in the coastal zone of the Azov and Black seas of the Taman Peninsula, as well as over its surface. Some potentially dangerous territory identified. Average values of radon volumetric activity determined in the zones of tectonic disturbances and for the main territory of the Taman.

Keywords: Taman peninsula, radon, radon volumetric activity.