

УДК 551.311.8:539.16(262.5)

В.В. Гудзенко¹, М.А. Деяк², В.А. Кутний², С.П. Науменко²

РАДИОАКТИВНОСТЬ ПРОДУКТОВ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНИЗМА

Приведены новые результаты исследований содержания природных радионуклидов в твердой, жидкой и газовой фазах продуктов грязевого вулканизма нескольких подводных и наземных структур Черного моря и Керченского полуострова. Концентрации ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в твердой фракции (так называемая "сопочная брекчия"), так же, как отношения Th/U , очень близки величинам, характерным для глинистых толщ. Концентрации ^{222}Rn в спонтанных газах умеренные и изменяются от долей до почти 9 Бк/дм³. Отдельные находки ^{137}Cs черноморского происхождения позволяют оценить скорость осадконакопления для верхних частей почвенных разрезов возле грязевулканических структур.

За последние сто лет накоплен огромный фактический материал, касающийся особенностей литологического, минералогического, химического, газового и изотопного состава продуктов грязевого вулканизма в различных регионах земного шара. Вместе с тем достаточно ограничено число работ, посвященных радиоактивности этих образований. Среди пионерских следует отметить работу Э.А. Штебера [6]. Естественно, при уровне развития измерительной аппаратуры в начале прошлого века, речь могла идти об ионизационном эффекте, производимом излучениями вулканических газов, а не о составе излучателей. Из последних работ этого плана, проводившихся на Тамани, следует отметить мониторинг радионуклидов как принадлежащих естественным рядам распада, так и некоторых космогенных, выполнявшийся силами специалистов Кубанского университета. Результаты этих работ упомянуты в [5]. Исследования подобного плана достаточно регулярно печатаются в *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*.

Наличие ряда известных грязевулканических структур на территории (Восточный Крым, Карпаты) и в акваториях (Азовское и Черное моря) Украины предопределяет интерес к изучению состава радиоактивных элементов, выносимых в моря и на дневную поверхность в результате деятельности грязевых вулканов [1, 5]. Как известно, продукты грязевого вулканизма представлены тремя фазами — твердой, жидкой и газообразной, каждая из которых имеет свои особенности.

© В.В. Гудзенко¹, М.А. Деяк², В.А. Кутний², С.П. Науменко².

¹ Институт геологических наук НАН Украины.

² Отделение морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины.

Радиоактивность твердой фазы

Первые представления о радиоактивности твердой фазы продуктов подводного грязевого вулканизма были получены нами в результате гамма-спектрометрических измерений образца донных отложений, поднятых в 59-м рейсе НИС “Профессор Водяницкий” в Черное море 2003 г. Сапропелевый ил с детритом (Ст. 5763 координаты: ш. 44°17'310, вд. 35°00'013 глубина моря 2092 м — интегральная проба из интервала 0.00–1.00 м) содержал: уран ^{238}U — 88 ± 40 ; радий (^{226}Ra) — 29 ± 6 ; торий (^{232}Th) — 40 ± 19 и калий-40 (^{40}K) — 575 ± 126 Бк/кг сухого вещества. В образце присутствовал ^{137}Cs удельной активностью 3.4 ± 2.5 Бк/кг, что свидетельствует о наличии в разрезе современных (постчернобыльских) отложений. Недостаточное количество материала с других станций не позволило определить концентрации отдельных радионуклидов, однако в одном из разрезов, отобранных в 61-м рейсе, была измерена общая бета-активность (по глубине). Результаты измерений (импульсы в секунду на килограмм сухой массы) представлены в таблице 1.

Таблица 1

Изменение с глубиной бета-активности донных отложений, отобранных в 61-м рейсе НИС “Профессор Водяницкий”
(Станция 5785 44°38'125 с.ш. 36°03'578 в.д., глубина 701 м)

Данные радиометрии			Геологические данные	
№ п/п	Интервал, см	Σ_{β} , сек ⁻¹ кг ⁻¹	Интервал, см	Литолого-палеонтологическое описание
1	0-50	116±10	00-20	Ил жидкий, серый.
2	60-90	125±10	20-35	Ил мягкопластичный серый.
3	50-100	112±10	35-75	Ил серый с зеленоватым оттенком с редкими прослоями кокколитов, в толще прослеживается прослой (1 см) сапропелевидного зеленовато-серого ила.
4	100-150	105±8	75-175	Ил грязевулканический, серый с голубоватым оттенком, плотный, неслоистый.
5	150-180	119±9	175-250	Ил грязевулканический, гидротроилитовый, голубовато-серый, слоистый; в нижней части гидротроилита нет.
6	200-230	109±8		
7	230-250	152±10		

Как видно из таблицы, суммарная бета-активность илов по разрезу достаточно монотонна и, за исключением интервалов 100–150 и 230–250 см, укладывается в пределы погрешностей радиометрических измерений, которые выполнялись на установке малого фона УМФ-1500м, оснащенной торцевым счетчиком СБТ-13.

Сложности отбора проб продуктов подводного грязевого вулканизма обусловили смещение акцентов на исследование образований, выносимых на дневную поверхность.

В 2004 году была выполнена серия гамма-спектрометрических измерений образцов сопочных брекчий, отобранных сотрудниками ОМГОР в 2003–2004 годах в пределах Керченско-Таманской грязевулканической провинции. Так как первоначальной задачей опробования не являлось изучение состава радиоактивных элементов, объемы проб большей частью не превышали 0.1 дм³. Это обстоятельство (малый объем проб) предопределило высокие значения погрешностей измерений.

Измерения проводились на полупроводниковом гамма-спектрометре высокого разрешения СГС-55м в геометрии “дента” (пластмассовая коробочка от зубного порошка). Разрешающая способность по энергии составляла порядка 2 кЭв для линии 1117 кЭв (⁶⁰Co). Экспозиции колебались от нескольких часов до 2.5 суток. Концентрации ²³⁸U, не имеющего мощных гамма-линий, определялись по его короткоживущим продуктам распада — ²³⁴Th или ^{234m}Pa. Для большинства проб гамма-линии этих нуклидов всё же были недостаточно интенсивны для уверенных определений. В этом случае использовался ²³⁵U, гамма-активность которого в естественной смеси изотопов урана в 21.5 раз меньше активности ²³⁸U. В то же время ²³⁵U имеет мощнейшую гамма-линию с выходом порядка 56%. Концентрации радия определялись по линиям продуктов распада радона ²¹⁴Pb и/или ²¹⁴Bi. Во избежание потерь газа из проб, отобранные образцы выдерживались перед измерениями в закрытых “дентах” для накопления радона. Отсутствие в ряду тория долгоживущих промежуточных продуктов распада позволяет использовать для его измерений ²¹²Pb, ²¹²Bi или ²²⁸Ac, имеющие высокие выходы гамма-излучения.

Относительно небольшой (около 10%) выход гамма линии ⁴⁰K компенсируется довольно высокими концентрациями этого нуклида, на порядок с лишним превышающими активности остальных гамма-излучателей в составе сопочных брекчий.

Результаты измерений представлены в таблице 2.

Обращают на себя внимание очень высокие погрешности определения урана при данных условиях гамма-спектрометрических измерений. Что касается остальных естественных гамма-излучателей, то их концентрации очень близки между собой и мало изменяются от объекта к объекту.

В июле 2007 года, в ходе работ по мониторингу сопочных газов шести объектов Керченского полуострова, были отобраны свежие пробы сопочной брекчий больших объемов. Для части из них удалось выполнить гамма-спектрометрические измерения в более эффективной геометрии — сосуд Маринелли объемом 1 дм³. Это позволило заметно уменьшить погрешности измерений, результаты которых приведены в таблице 3. Наряду с концентрациями отдельных радионуклидов здесь же представлены данные об их общей бета-активности.

Суммарные (общие) бета-активности сопочных брекчий практически идентичны соответствующим показателям донных осадков (см. табл. 1).

Таблица 2

Концентрации гамма-излучателей в сопочной брекчии грязевых вулканов, Бк/кг

№	Год	Место отбора	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
КЕРЧЬ						
1	2003	Джау-Тепе, вершина	54 ± 40	24 ± 9	43 ± 9	521±170
2	То же	То же, старый поток	69 ± 24	28 ± 5	33 ± 5	470±90
3	"-	Королевский	106 ± 62	25 ± 6	31 ± 5	566±127
4	"-	Малый Тархан (сопка Шилова)	53 ± 31	26 ± 8	23 ± 4	496±116
5	"-	То же (сопка Трубецкого)	46 ± 21	24 ± 7	27 ± 4	480±99
6	"-	Андреевский	132 ± 33	25 ± 4	38 ± 5	352±70
7	2004	Солдатско-Слободской	74 ± 25	11 ± 3	32 ± 4	604±110
8	То же	Джарджава (сопка Кизячная)	48 ± 25	23 ± 6	34 ± 5	484±105
Грязевулканический очаг Булганакский						
9	2003	Центральное озеро, В часть	83 ± 17	31 ± 4	30 ± 4	465±87
10	То же	То же, Ю часть	48 ± 17	30 ± 6	24 ± 5	472±101
11	"-	То же, З часть	78 ± 23	25 ± 4	27 ± 4	442±85
12	2003	Сопка Ольденбургского	125 ± 56	22 ± 6	27 ± 5	470±115
13	2004	То же	77 ± 31	24 ± 6	30 ± 5	428±105
14	2003	Сопка Андрусова	56 ± 12	26 ± 5	31 ± 5	461±91
15	2004	То же	70 ± 17	20 ± 3	27 ± 3	500±92
16	2003	Сопка Обручева	65 ± 26	15 ± 4	29 ± 5	612±123
17	То же	Сопка Тищенко	39 ± 22	18 ± 4	32 ± 5	476±89
ТАМАНЬ						
18	2003	Грязевой вулкан Шопурка	73 ± 22	35 ± 7	36 ± 6	632±142
19	То же	Сопка Ахтанизовская	60 ± 15	25 ± 4	40 ± 6	550±101
20	"-	Грязевой вулкан Бугазский*	180 ± 39	85 ± 9	87 ± 16	1553±258
21	"-	Гряз .вулк. Цымбалы Западные	<70	23 ± 8	33 ± 8	641±115
22	"-	Грязевой вулк. Карabetова гора	92 ± 38	30 ± 7	41 ± 6	534±114

* Мало материала.

Исходя из изотопного состава радионуклидов, основным бета-излучателем в исследованных образцах является ^{40}K , хотя определенный вклад вносят продукты распада урана и тория. Несравненно меньшей радиоактивностью отличается штуф сидерита из грязевого потока сопки Ольденбургского.

Во всех без исключения исследованных образцах сопочных брекчий концентрации ^{238}U , даже измеренные со значительными погрешностями, превосходят концентрации ^{226}Ra . Иными словами, в ряду урана наблюдается сдвиг равновесия в сторону недостатка дочернего продукта. Период

Таблица 3

Общая β -активность ($\text{с}^{-1}\text{кг}^{-1}$) и концентрации γ -излучателей (Бк/кг) в сопочных брекчиях, отобранных в июле 2007 года

№	Дата	Место отбора	$\Sigma\beta$	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
1755*	14.07	Сопка Андрусова	-	16 ± 7	6 ± 1	6 ± 1	92 ± 19
1755	То же	То же	101 ± 8	<90	22 ± 10	33 ± 5	553 ± 132
1756	21.07	-"-	115 ± 9	67 ± 17	38 ± 6	34 ± 6	610 ± 137
1757	22.07	Сопка Тищенко	143 ± 12	47 ± 13	33 ± 4	33 ± 4	596 ± 109
1758	То же	Сопка Ольденбургского	111 ± 9	41 ± 26	31 ± 6	34 ± 6	429 ± 116
1759	-"-	Сопка Павлова	126 ± 13	71 ± 23	24 ± 4	33 ± 5	537 ± 107
1761	27.07	Сопка Трубецкого	108 ± 9	77 ± 15	30 ± 3	33 ± 4	585 ± 109
1762**	То же	Сопка Ольденбургского	-	нпо	13 ± 3	5 ± 2	83 ± 48

* В состоянии естественной влажности.

** Штуф сидерита, нпо — ниже предела обнаружения.

полураспада ^{226}Ra — 1600 лет, поэтому этот изотоп имеет собственную геохимическую историю (и даже собственные минералы) и в открытых динамичных системах, к которым без сомнения относятся грязевулканические структуры, способен мигрировать отдельно от родоначальника ряда. Таким образом, за время движения сопочной массы от области аномально высокого пластового давления к дневной поверхности радий отстаёт от урана. Причины такого отставания коренятся в различиях геохимических свойств этих элементов. В условиях гипергенеза бывают случаи аномального накопления радия теми или иными породами при почти полном отсутствии урана (т.н. эманерирующие коллекторы). На каком этапе восходящего движения сопочной брекчии, образующейся из безусловно равновесных (для ряда урана-радия) глинистых толщ, происходит это разделение, сказать сложно, учитывая специфику изучаемых объектов. Исключительно конвективный перенос сопочной брекчии с больших глубин к дневной поверхности или к морскому дну, на первый взгляд, не должен способствовать разделению урана и радия. Однако результаты измерений свидетельствуют об обратном.

Представление о вертикальном распределении радионуклидов в сопочных отложениях получены при измерении трех образцов, отобранных с западной стороны Центрального озера Булганакского грязевулканического очага. Результаты этих измерений представлены в таблице 4.

Таблица 4

Общая β -активность ($\text{с}^{-1}\text{кг}^{-1}$) и концентрации радионуклидов (Бк/кг) в осадках Центрального озера (проба 1763)

Интервал	$\Sigma\beta$	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
0-5 см	89 ± 8	57 ± 10	26 ± 3	30 ± 3	474 ± 51	-
5-10 см	86 ± 7	86 ± 9	35 ± 3	40 ± 4	543 ± 52	-
10-20 см	113 ± 8	56 ± 9	34 ± 3	38 ± 4	537 ± 54	1.6 ± 0.6

Как видно из таблицы, верхний 5 см слой высохшей сопочной брекчии несколько обеднен практически всеми изучаемыми радионуклидами. Не исключено, что это может быть следствием их активного выщелачивания во время дождей или весеннего снеготаяния. В интервале 10–20 см уверенно обнаруживается ^{137}Cs (1.6 ± 0.6 Бк/кг). Если пренебречь вертикальной миграцией этого нуклида, в принципе легко сорбируемого глинистыми минералами, скорость накопления сопочной брекчии на периферии Центрального озера может быть оценена в 0.7 см/год. Обоснованность этой цифры невелика, т.к. мы не имеем данных о концентрациях радиоцезия на больших глубинах, и, соответственно, не можем быть уверены, что исследуемый интервал соответствует максимуму распределения, т.е. времени Чернобыльской аварии.

Важным геохимическим показателем является отношение удельных активностей тория (^{232}Th) и урана (^{238}U). Представляет интерес и отношение $^{40}\text{K}/^{226}\text{Ra}$. Результаты расчетов представлены в таблице 5.

Таблица 5

Изотопные отношения объектов грязевого вулканизма (единицы активности)

№ проб	Характер пробы	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{40}\text{K}/^{226}\text{Ra}$
1755	Сопочная брекчия свежая	0.38 ± 0.23	16.7 ± 6.5
1763	Разрез сопочных отложений 0-5 см	0.53 ± 0.14	18.2 ± 4.0
То же	То же 5-10 см	0.46 ± 0.09	15.7 ± 3.0
-"-	10-20 см	0.68 ± 0.18	15.7 ± 3.1

Из-за различий в удельной активности родоначальников радиоактивных рядов ^{232}Th и ^{238}U их массовое отношение в 3 раза превосходит отношение активностей. Иными словами, отношение массовых долей тория и урана в исследованных нами образцах сопочной брекчии колеблется от 1.1 до 2.0.

В таблице 6, заимствованной из работы А.А. Смыслова [3], приведены торий-урановые отношения в осадочных породах континентальной коры.

Таблица 6

Уран и торий в осадочных породах [3]

Группы и типы пород	Уран, 10^{-4} %	Торий, 10^{-4} %	Торий/Уран
Терригенные (песчано-глинистые)			
Аргиллиты, глинистые сланцы, глины	4.0	11.5	2.4
Карбонатные			
Известняки	1.6	1.8	1.1
Мергели	2.8	2.5	0.9
Доломиты	3.7	2.8	0.8
Битуминозные известняки	7.8	11.9	1.5
Соленосные			
Ангидриты	1.0	1.0	1.0
Каменная соль	0.9	1.0	1.1

Как видно, измеренные нами отношения ближе всего к цифрам, характерным для аргиллитов, глинистых сланцев и глин. В какой-то степени — для мергелей. Это обстоятельство косвенно подтверждает принадлежность сопочной грязи глинистым толщам майкопа.

Радиоактивность жидкой фазы

Возможности изучения радиоактивности жидкой фазы продуктов грязевого вулканизма подводных объектов, естественно, крайне ограничены. Да и при исследовании наземных сопкок возникают определенные трудности, связанные прежде всего со спецификой сопочной брекчии. По нашим определениям (аналитик Г.И. Гудзенко) влажность отобранных в 2007 году образцов колебалась от 250 до 450%. Из-за чрезвычайной тонкозернистости взвесей, отстаивание проб и последующая декантация жидкой фазы обеспечивали не более 100–300 мл/л воды из 1 дм³ свежесобранных образцов сопочной брекчии. Попытки фильтрации под вакуумом на воронках Бюхнера существенно не увеличивали общего объема извлекаемой жидкой фазы.

Отобранные пробы воды исследовались на содержание четных изотопов радия ²²⁶Ra и ²²⁸Ra. Альфа-излучающий ²²⁶Ra определялся эманационным методом по накоплению дочернего ²²²Rn. Концентрирование радия выполнялось по стандартной методике путем соосаждения с сульфатом бария. После окончания эманационных измерений, выполнявшихся на приборе “Альфа-1”, концентрат обрабатывался для последующих измерений ²²⁸Ra по β-излучению на малофоновой установке УМФ-1500м, упоминавшейся выше в связи с измерениями общей активности твердой фазы брекчий. Результаты эманационных и радиометрических измерений приведены в таблице 7.

Таблица 7

Изотопы радия в жидкой фазе сопочной брекчии, мБк/дм³

Место и дата отбора пробы	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra
Сопка Андрусова 14.07.2007	151 ± 27	36 ± 36
То же 21.07.2007	148 ± 38	165 ± 64
Сопка Тищенко 22.07.2007	241 ± 50	нд
Сопка Ольденбургского 22.07.	123 ± 17	54 ± 31
Центральное озеро* 26.07.2007	186 ± 13	67 ± 22
Сопка Трубецкого 27.07.07	111 ± 16	80 ± 29

* Вода без взвесей.

Следует отметить, что эффективность эманационных измерений значительно превосходит соответствующий показатель малофоновых определений ²²⁸Ra, поэтому погрешности определений последнего из ограниченных объемов воды в целом выше.

Максимальная концентрация ^{226}Ra отмечена в воде из сопки Тищенко, выводящей чрезвычайно густую грязь. Недостаточный объем воды не позволил определить в этой пробе концентрацию ^{228}Ra .

Абсолютные значения концентраций изотопов радия в жидкой фазе сопочных брекчий Керченского полуострова занимают промежуточное положение между концентрациями, характерными для подземных вод верхнего структурного этажа (единицы — десятки мБк/дм³) и законтурными водами нефтяных и газовых месторождений (единицы-десятки Бк/дм³)[2]. В то же время эти цифры сопоставимы с концентрациями радия в водах ореолов рассеяния месторождений и проявлений радиоактивного сырья.

Специальных измерений концентраций радона в жидкой фазе не выполнялось. Однако после доставки проб в лабораторию ИГН НАН Украины были предприняты попытки оценить концентрации водорастворенного газа в осветленных частях сопочных брекчий.

После аккуратного отвинчивания пробок на ПЭТ бутылках с пробами осветленная часть жидкости под вакуумом переводилась в промывалки Щепотьевой и поступала на измерение на модернизированную установку "Альфа-1".

Поскольку измерения производились спустя несколько суток после отбора проб, в их результаты вводились поправки на распад радона. По аналогии с поведением растворенного радона в подземных водах, предполагалось, что источник радия, его генерирующий, находится в породах на пути восходящего движения сопочной грязи. Обоснованность подобного предположения хорошо иллюстрируется фактами захвата восходящим потоком фрагментов пород вышележащих структурных этажей, существенным образом отличающихся по радиоактивности (см. сидерит в табл. 3). Полученные цифры существенно превосходили концентрации радона в спонтанных газах (см. ниже). В качестве альтернативы была принята гипотеза о том, что источником радона в жидкой фазе сопочных брекчий является радий, содержащийся во взвешях. В этом случае поправки на распад вводить не следует, т.к. жидкая фаза контактирует с источником радия постоянно. Следует отметить также, что измерения концентраций радона производились во временном интервале от 12 до 25 суток после отбора проб. Соответственно, поправки на распад радона изменялись от 0.114 до 0.011. Результаты измерений и расчетов для двух вариантов приведены в таблице 8.

Таблица 8

Концентрации радона в жидкой фазе сопочных брекчий и спонтанном газе (Бк/дм³)

Место отбора	С учетом поправки на распад	Без учета поправки на распад	В спонтанном газе
Сопка Андрусова	27 ± 2	1.65 ± 0.14	2.14 ± 0.64
То же	17 ± 2	0.94 ± 0.11	1.93 ± 0.58
Сопка Тищенко	40 ± 3	1.83 ± 0.15	3.80 ± 1.14
Сопка Ольденбургского	16 ± 2	1.05 ± 0.13	2.80 ± 0.84
Сопка Павлова	56 ± 4	2.6 ± 0.2	0.92 ± 0.28
Сопка Трубецкого	5.7 ± 0.7	0.93 ± 0.11	1.00 ± 0.30

Как видно из таблицы, цифры, предполагающие основным источником радия (радона) твердую фазу сопочных брекчий, вполне соизмеримы с концентрациями в спонтанном газе.

Концентрации радона, измеренные одним из авторов в жидкой фазе продуктов грязевого вулкана в Карпатах (Ивано-Франковская область) в 1979 году, составляли порядка 10 Бк/дм³, т.е. были выше керченских.

Радиоактивность газообразной фазы

Первые представления о концентрациях радона в газе грязевулканических структур были получены нами в ходе рекогносцировочных исследований экологического плана, проводившихся в Керчи в 2004 году. Следует отметить, что в многочисленных публикациях (и материалах из Всемирной сети Internet в том числе), среди газов, выводимых грязевыми вулканами, неоднократно упоминается радон. Однако численных значений обнаружить нам так и не удалось.

Результаты измерений концентраций ²²²Rn в некоторых объектах представлены в таблице 9. Использовался сцинтилляционный эманометр РГА-1 (“Глициния”), обеспечивавший погрешность радиометрических измерений не более 30%.

Таблица 9

Концентрации радона в почвенном воздухе и спонтанных газах (Бк/дм³) 2004 год

Место отбора	²²² Rn	Примечание
Солдатско-Слободской грязевулканический очаг. Сопка Никитского	0.34	Почвенный воздух из бурки 0.6 м
Булганак. Сопка Ольденбургского	2.16	Спонтанный газ
Булганак. Вулкан Андрусова	0.62	Спонтанный газ
Вулкан Джарджава	0.97	Воздух из трещины, глубиной 1 м

Почвенный воздух отбирался вакуумным методом с помощью штатного пробоотборника эманометра, спонтанный газ — с помощью полиэтиленовой воронки, опускаемой в сопочную грязь над грифонами. Совершенно очевидно, что радон в почвенном воздухе безусловно разбавлен атмосферным, т.к. его концентрации заметно меньше характерных значений в других регионах (единицы-первые десятки Бк/м³).

В ходе мониторинга спонтанных газов на шести объектах Булганакского (Центральное озеро, сопка Ольденбургского, сопка Павлова, сопка Андрусова и сопка Тищенко) и Мало-Тарханского (сопка Трубецкого) грязевулканических очагов с 14 по 30 июля 2007 года выполнено более ста измерений концентраций радона. Размах значений по всем обследованным сопкам от 0.31 (сопка Тищенко 16.07) до 8.70 Бк/дм³ (Центральное озеро 28.07). Измерения концентраций проводились практически в одно и то же время, что позволяет не учитывать суточные вариации, связанные,

например, с прохождением лунно-приливной волны. Результаты измерений представлены в таблице 10. Здесь учтены также измерения на 7-ми грифонах сопки Ольденбургского.

Таблица 10

Концентрации радона в спонтанных газах (Бк/дм³)

Место отбора	Минимум	Максимум	Среднее арифметическое
Центральное озеро	0.60	8.70	3.24
Сопка Ольденбургского	0.81	7.40	3.03
Сопка Павлова	0.49	4.60	2.44
Сопка Андрусова	0.86	5.10	2.95
Сопка Тищенко	0.31	4.90	3.08
Сопка Трубецкого	0.62	6.20	2.91

Как видно из таблицы, средние концентрации радона в газовой фазе сопочной брекции грязевулканических структур Керченского полуострова весьма монотонны. Несколько выпадают из общей картины только газы, отбирившиеся из сопки Павлова. Учитывая специфику изучаемого компонента, а концентрация радона в спонтанных газах во многом определяется его концентрацией в жидкой фазе, можно считать механизмы формирования концентраций едиными для всех исследованных объектов.

По аналогии с извлечением радона из растворов путём барботирования последних тем или иным газом, можно предполагать, что концентрации радона в спонтанных газах зависят, среди прочих причин, от интенсивности “продувания” жидкой грязи восходящим их потоком. Причем состав газов не оказывает никакого влияния на процесс перехода радона. Напротив, режим дегазации (равномерный или пульсирующий; мелкие или крупные газовые пузыри; температура пульпы и т.п.) оказывает решающее влияние на переход радона из жидкой (и твердой!) фазы в газовую.

Выводы

Радиоактивность продуктов грязевого вулканизма определяется присутствием в них членов естественных рядов распада урана (^{238}U), тория (^{232}Th), актиноурана (U^{235}) с их дочерними нуклидами, а также ^{40}K . Концентрации последнего наибольшие в твердой и жидкой фазах и вообще отсутствуют или исчезающе малы — в газообразной. Наличие заметных концентраций тория и продуктов его распада обуславливает присутствие в газообразной фазе короткоживущего изотопа ^{220}Rn (Tn), специальных измерений которого не проводилось. Судя по торий-урановым отношениям, концентрации этого изотопа должны быть соизмеримы с концентрациями ^{222}Rn .

Во всех исследованных образцах наблюдается неравновесие в ряду урана (^{238}U). Недостаток радия достигает 50% и более. Причина этого явления требует специального изучения.

Торий-урановые отношения близки к таковым аргиллитов, глинистых сланцев или глин. Абсолютные концентрации четных изотопов радия заметно выше значений, характерных для подземных вод зоны аэрации, но уступают таковым, присущим законтурным водам нефтяных и газовых месторождений.

В отдельных случаях присутствуют следовые количества техногенного ^{137}Cs , по-видимому, чернобыльского генезиса. Детальное изучение вертикального распределения этого нуклида может послужить основой для оценки темпов накопления осадков в окрестностях грязевулканических структур. Этой же цели могут послужить измерения концентраций изотопа свинца ^{210}Pb . Попытки обнаружить этот нуклид по его гамма-линии 46 кЭв не увенчались успехом из-за недостаточной чувствительности метода.

Следует подчеркнуть, что вышеописанные исследования, за исключением эманационных измерений ^{226}Ra и суммарных β -измерений ^{228}Ra , выполнялись на основе полупроводниковой γ -спектрометрии — экспрессного, но часто недостаточно чувствительного метода. Применение адекватных методов исследования, как α -спектрометрия, радиохимическая подготовка образцов для β -измерений (^{210}Pb), лазерно-активационное определение урана и др. позволит получить гораздо более глубокие представления о распределении радиоактивных элементов и их изотопов в продуктах столь экзотического природного феномена, каким без сомнения является грязевой вулканизм, как подводный так и наземный.

1. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. Атлас / Е.Ф. Шнюков, Ю.В. Соколовский, Г.И. Гнатенко и др. К.: Наукова думка, 1986. — 152 с.
2. Гудзенко В.В., Дубинчук В.Т. Изотопы радия и радон в природных водах. — М.: Наука 1987. — 134 с.
3. Смыслов А.А. Уран и торий в земной коре. — Л.: Недра 1974. — 231 с.
4. Цветкова Т., Невинский И., Панюшкина А. Измерение радона в геологии. Обзор ООО "Геоинформцентр". — М.: 2002. — 55 с.
5. Шнюков Е.Ф., Пасынков А.А., Любицкий А.А., Богданов Ю.А. Новые проявления газового и грязевого вулканизма в Черном море // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2007. — С. 107–110.
6. Штебер Э.А. Радиоактивность вулканоидных газов // Южный инженер. — 1915, № 7. — С. 195–198.

Описані нові результати досліджень вмісту природних радіонуклідів у твердій, рідкій та газоподібній фазах продуктів грязьового вулканізму кількох підводних та наземних структур Чорного моря та Керченського півострова. Концентрації ^{226}Ra , ^{232}Th та ^{40}K у твердій фракції (так звана "сопкова брекція"), так само, як співвідношення Th/U , дуже близькі до величин, що характерні для глинистих шарів. Концентрації ^{222}Rn у спонтанних газах помірні та змінюються від часток до майже 9 Бк/м³. Окремі знахідки ^{137}Cs чорнобильського походження дозволяють оцінити швидкість нагромадження осадків для верхніх частин ґрунтових перерізів біля грязьовулканічних структур.

New results described, concerning naturally occurring radionuclides' distribution in the solid, liquid and gaseous fractions of the mud volcanic products of several submarine and surface structures of the Black sea and Kerch' peninsula. Concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in the solid fraction (so called "volcano breccia"), as like as the ratio Th/U , are very close to the digits, typical for the clay strata. Concentrations of the ^{222}Rn in the spontaneous gases are moderate and varies from the parts to about 9 Bq/dm³. Separate accidental finds of the chernobyl origin ^{137}Cs allow to estimate the sedimentation rate for the upper parts of the ground cuts near the mud volcanic structures.