

СХЕМА ТЕХНОГЕННОГО РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

А.Г. ГРИГОРЬЕВ¹, Е.Н. НЕСТЕРОВА¹, И.А. НЕЕВИН¹, М.А. ХОЛМЯНСКИЙ²

¹ — Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург, e-mail: Andrey_Grigiryev@vsegei.ru

² — ФГБУ «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», Санкт-Петербург, e-mail: ya.holm36@yandex.ru

Представлена схема техногенного радиоактивного загрязнения Российской Арктики, изложены основные положения методики ее составления. На схеме выделены основные области загрязнения суши и акватории в пределах арктической зоны и указаны предполагаемые источники загрязнения.

Ключевые слова: техногенная радиоактивность, донные отложения, радиоцезий, арктические моря.

ВВЕДЕНИЕ

Источниками антропогенной радиоактивности являются атмосферные, наземные и подземные ядерные взрывы, аварии на атомных предприятиях и электростанциях, выбросы радиоактивности в процессе работы этих предприятий и т.д.

При проведении испытаний ядерного оружия и авариях на атомных предприятиях и электростанциях в атмосферу, в ее верхнюю часть — стратосферу, попало значительное количество мелкодисперсных радиоактивных частиц. В результате осаждения этих частиц на земную поверхность сформировались обширные области низкоуровневого радиоактивного загрязнения, относительно равномерно распределенные по обширной широтной зоне Северного полушария (глобальные выпадения). В результате атмосферного переноса и последующего выпадения радионуклидов на земной поверхности образуются радиоактивные следы различной протяженности.

Авария на Чернобыльской АЭС привела к существенному загрязнению значительных по площади территорий, как в виде «Чернобыльского следа», так и за счет последующих глобальных выпадений. Учитывая короткие периоды полураспада большинства выброшенных из реактора радионуклидов, через 2–3 года значимыми остаются только загрязнения ^{90}Sr , ^{137}Cs и трансурановыми элементами. Поскольку ^{90}Sr и трансурановые изотопы обладают низкой летучестью, радионуклидом, определяющим современную радиационную обстановку в чернобыльском выбросе на удалении в 100 и более километров от аварийного реактора, оказался ^{137}Cs (Израэль и др., 1987; Израэль и др., 1997).

Существенной особенностью поведения ^{137}Cs в почвах, влияющей на изменения уровней загрязнения, является его малая подвижность. Основная часть ^{137}Cs в почвах находится в труднорастворимой форме. Это приводит к тому, что скорость выноса цезия в региональном масштабе значительно ниже, чем скорость его радио-

активного распада, и поэтому реально не влияет на изменение плотности загрязнения ^{137}Cs . Таким образом, прогнозирование изменений величины плотности загрязнения местности ^{137}Cs на региональном уровне может осуществляться на основе радиоактивного распада.

МЕТОДИКА

При создании схемы техногенного радиоактивного загрязнения поверхности суши Российской Арктики в качестве базовых использовались карты, созданные по результатам радиационного мониторинга, проведенного в 1988–1993 гг. (Атлас..., 1998; Атлас..., 2009; Национальный атлас России..., 2007), а также материалы аэрогамма-спектрометрической и наземной гамма-спектрометрической съемки 1968–1973 гг. Следует отметить, что одним из основных положений при создании схемы является тезис о стабильности радиоэкологической обстановки в пределах рассматриваемого региона, то есть отсутствии новых заметных источников загрязнения. В результате на представленной схеме показано прогнозируемое на 2016 г. пространственное распределение удельной активности ^{137}Cs и выделены площади с различными уровнями загрязнения.

В основу построения радиоэкологической схемы распределения ^{137}Cs в донных осадках морских акваторий легли как результаты работ собственно ВСЕГЕИ, так и значительное количество литературных данных. В частности, материалы Г.И. Иванова (Иванов, 2006), а также данные приведенные в работах (Гуревич, 2002; Baskaran et al., 1996). Кроме того, использовались аналитические данные и образцы донных осадков, предоставленные ФГБУ ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга, Морской арктической геологоразведочной экспедицией (МАГЭ), РНЦ «Курчатовский институт», Институтом геохимии РАН, НП «ЦИТ».

При создании радиоэкологической схемы, базирующейся на разнородных материалах, все имеющиеся данные по активности радиоцезия, полученные по результатам анализов разных лет с учетом периода полураспада ^{137}Cs (30,2 года), были приведены к расчетной активности на 2016 г., и на их основе построена результирующая схема распространения ^{137}Cs в донных осадках.

Серьезной проблемой при создании радиогеохимических карт и схем распределения техногенных радионуклидов в донных осадках является отсутствие официальных нормативов оценки уровней загрязнения донных отложений радиоактивными веществами. В связи с этим в качестве критерия оценки накопления радиоцезия в донных осадках использовалось понятие степени аномальности его концентрации в осадках.

Расчет степени аномальности ($A_{\text{ан.}}$) производится по стандартной формуле, в зависимости от уровня значимости имеющей вид: $A_{\text{ан.}} = (A_{\text{фон.}} + N_{\sigma})$, где $A_{\text{фон.}}$ — удельная фоновая активность радиоцезия, σ — стандартное отклонение, N — переменная, принимающая значения от 1 до 3 в соответствии с уровнем значимости (Q). Логичным продолжением использования данной формулы служит и ее применение при выборе градаций построения изоконцентрат активности в донных осадках в величинах стандартного отклонения от фона.

Региональное загрязнение радиоцезием северных морей обусловлено, главным образом, глобальными выпадениями. Для построения схемы распределения радиоцезия в донных осадках были выбраны статистические параметры распределения радиоцезия, характеризующие региональный фон для алевропелитовых осадков вне зон влияния выявленных источников загрязнения, что позволило более строго

Соответствие степени аномальности и числовых значений удельной активности ^{137}Cs в донных осадках северных морей

Параметры	Базовые градации		
	$A_{\text{фон.}} + 1\delta$	$A_{\text{фон.}} + 2\delta$	$A_{\text{фон.}} + 3\delta$
Степень аномальности			
Градация активности, Бк/кг	7	12	16

выделять аномалии ^{137}Cs и, в общем случае, более надежно кватрировать области повышенных активностей радиоцезия. Соответствие степени аномальности и числовых значений удельной активности изоконцентрат приведены в табл. 1.

На детальность схемы техногенного радиоактивного загрязнения ^{137}Cs значительное влияние оказывает различная плотность радиогеохимической изученности территории, убывающая с запада на восток, что соответственно сказывается на информативности результирующих материалов.

Таким образом, в работе сведены в единое целое данные по разрозненным участкам, составлены единая легенда и схема загрязнения ^{137}Cs донных осадках акватории арктических морей, что в определенной степени и определяет новизну проведенных исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Уровень загрязнения радиоцезием поверхности суши Российской Арктики весьма неоднороден. Наибольшее заражение почв ^{137}Cs отмечается на западе территории — севере европейской части России: максимальный уровень загрязнения зафиксирован на южной оконечности архипелага Новая Земля, где удельная активность, приведенная к 2016 г., составляет более 0,5 Ки/км², что, вероятно, связано с проведением в районе губ Черная и Раковая (о. Южный арх. Новая Земля) приземного, надводного и подводного ядерных взрывов (Карта..., 1996). Площадь участков загрязнения в данном случае достаточно локальна и сосредоточена в окрестностях мест проведения взрывов. Территории с менее значительным уровнем заражения радиоцезием, соответствующим 0,05–0,1 Ки/км², расположены в европейской части России к югу от побережья Баренцева и Печорского морей. Они не связаны с Чернобыльской аварией, так как загрязнение радиоцезием на данных площадях отмечалось и до 1986 г. Наиболее вероятно, что это последствия радиоактивных выпадений, обусловленных ядерными испытаниями, проведенными в течение ряда лет на Новоземельском полигоне.

В арктической зоне азиатской части России значимое загрязнение почв радиоцезием встречается достаточно редко. Довольно существенной по размерам площадью, где наблюдается заметное загрязнение ^{137}Cs в интервале 0,05–0,1 Ки/км², является территория, прилегающая к долине реки Енисей. Это, очевидно, обусловлено деятельностью (в том числе, и в значительной степени аварийными ситуациями) ядерно-производственных комплексов, расположенных в Красноярском крае — в верхнем течении Енисея. Кроме того, два заметных пятна расположены восточнее Обской губы, вероятно, являющиеся реликтами глобальных выпадений, связанных с массовыми испытаниями ядерного оружия в атмосфере, проводимыми в 1957–1962 гг. СССР, США, Францией, Китаем.

В соответствии с нормативами Российской Федерации, минимальным опасным уровнем загрязнения является 1 Ки/км². В таком случае, согласно данным, представ-

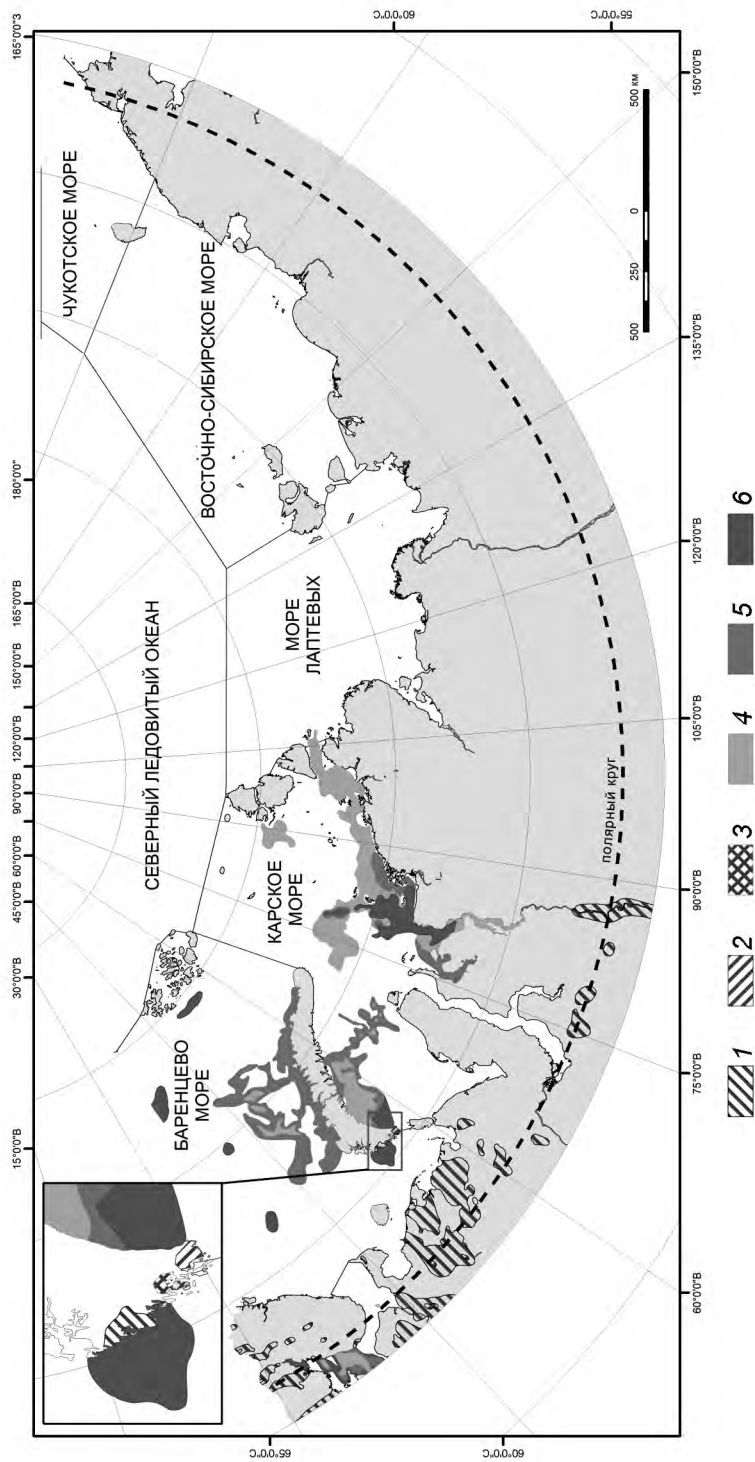


Рис. 1. Схема загрязнения ^{137}Cs [37 Российской Арктики.

Загрязнение почв (плотность загрязнения ^{137}Cs): 1 — 0,05–0,1 Ки/км²; 2 — 0,1–0,25 Ки/км²; 3 — более 0,25 Ки/км². Загрязнение донных осадков акватории (удельная активность ^{137}Cs): 4 — 7–12 Бк/кг; 5 — 12–17 Бк/кг; 6 — более 17 Бк/кг.

ленным на схеме, следует, что в пределах Российской Арктики в региональном плане опасного загрязнения почв изотопом ^{137}Cs не отмечается, за исключением некоторого количества точечных, локальных участков.

Как отмечалось выше, в России отсутствуют официальные критерии оценки уровней загрязнения донных отложений техногенными радионуклидами. В связи с этим при построении схемы в качестве критериев уровня загрязнения радиоцезием использовалось значение степени аномальности его концентрации в осадках.

В пределах акватории морей Российской Арктики можно выделить четыре основные области с относительно повышенным содержанием ^{137}Cs в донных осадках. В первую очередь это участок Карского моря, примыкающий к Енисейскому заливу, и сам залив, откуда полоса распространения радиоцезия языками протягивается на север и вдоль побережья на восток, вплоть до пролива Вилькицкого. Максимальная зафиксированная на данной площади удельная активность составляет 41 Бк/кг. Выделенный участок акватории увязывается с полосой площадного загрязнения суши, вытянутой вдоль долины реки Енисей. Очевидно, источником поступления радиоцезия в обоих случаях является Красноярский горно-химический комбинат, расположенный выше по течению Енисея.

Вторая достаточно обширная область с повышенными по отношению к фону активностями ^{137}Cs расположена на западе и, отчасти, в центральной части Карского моря, в целом простираясь вдоль восточного побережья архипелага Новая Земля. затопленных объектов проводилось в заливах Цивольки, Степового и Абросимова. Территориально в ее пределах расположены районы затопления твердых радиоактивных отходов (ТРО), которые проводились в 1967–1991 гг. в заливах восточного побережья архипелага Новая Земля и Новоземельском желобе. Наиболее интенсивное затопление ТРО с высокой суммарной активностью По имеющимся данным, фоновые значения активности радиоцезия в донных осадках этих заливов относительно невелики и составляют: 7 Бк/кг в заливе Цивольки, 9 Бк/кг в заливе Степового и 11 Бк/кг в заливе Абросимова. Даже в непосредственной близости от высокоактивных затопленных объектов активность ^{137}Cs в донных осадках не представляет реальной опасности. Так, в заливе Степового, в непосредственной близости от затопленной атомной подводной лодки «К-27», фоновая активность составляла 9,5 Бк/кг, при максимальной зафиксированной в пределах залива удельной активности 12 Бк/кг. В заливе Цивольки, рядом с затопленной экранной сборкой с частью отработанного ядерного топлива атомного ледокола «Ленин», фоновая активность составляла 4,5 Бк/кг, при максимальной зафиксированной в пределах залива удельной активности 6,8 Бк/кг. Аналогичная радиозокологическая ситуация, как правило, характерна и для других затопленных объектов, что свидетельствует об отсутствии в настоящее время заметных утечек радиоактивных веществ и целостности защитных барьеров. Таким образом, захоронения твердых радиоактивных отходов едва ли являются заметным источником повышения содержания радиоцезия в донных осадках региона. Вероятно, повышенные концентрации радиоцезия в пределах второй выделенной области главным образом обусловлены глобальными выпадения, связанными с Чернобыльской аварией (Иванов, 2006, 2007) и различными видами испытания ядерного оружия на полигонах Новой Земли.

Третий участок расположен в юго-восточной части Баренцева моря, примыкающей к южной оконечности архипелага Новая Земля. Здесь отмечены максимальные для региона активности радиоцезия, достигающие 74 Бк/кг. Появление подобной зоны, очевидно,

связано с проведением ядерных взрывов в губе Черная, расположенной в данном районе, и последующим выносом радионуклидов в открытое море. В самой губе Черная в донных осадках зафиксирована удельная активность ^{137}Cs , равная 292 Бк/кг (Иванов, 2007).

Четвертый участок с повышенными активностями радиоцезия, колеблющимися в интервале от 7 до 17 Бк/кг, расположен в Баренцевом море к западу от архипелага Новая Земля. Основным источником поступления ^{137}Cs в донные осадки можно считать испытания ядерного оружия, хотя определенный вклад могли вносить как слив жидких радиоактивных отходов, проводимый ранее в указанном регионе, так и поступление радиоактивных отходов с морскими течениями (Иванов, 2006) из атомного комплекса Селлафилде (Англия), где в разное время производился оружейный плутоний, изготовлялось топливо для АЭС и перерабатывались радиоактивные отходы. Известны случаи ряда аварий на данном комплексе. На остальной территории акваторий морей Российской Арктики аномальных значений ^{137}Cs в донных осадках не зафиксировано.

Следует отметить, что с геологических позиций все области повышенных концентраций радиоцезия расположены в пределах полей распространения алевропелитового материала. Известно, что радиоцезий наиболее интенсивно накапливается в пелитовой фракции донных отложений (Громов, Спицин, 2012; Матишов, Матишов, 1998; Матишов, и др., 1994). В значительной мере это объясняется тем обстоятельством, что цезий как однозарядный щелочной металл с крупным радиусом иона легко сорбируется глинистыми минералами (Перельман, 1989). Механизм накопления радиоцезия в алевропелитовых осадках имеет тройственную природу: непосредственная сорбция ^{137}Cs из воды, осаждение мелкодисперсных частиц из атмосферы с последующим накоплением в пелитовой фракции и накопление за счет осаждения на дно массы взвешенного глинистого материала, адсорбировавшего радиоцезий в наземных условиях, а затем смытого в акваторию. В пределах акватории происходит перераспределение тонкодисперсного материала и его накопление в границах полей распространения алевропелитовых осадков. Очевидно, что литологический фактор играет заметную роль в процессах пространственного распределения радиоцезия в донных осадках наряду с наличием источников его поступления, их интенсивностью и временным интервалом, в течение которого происходило поступление и накопление радиоцезия. Последнее, учитывая период распада радионуклида, также в значительной степени влияет на его содержание в донных осадках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По степени техногенного радиоактивного загрязнения всю территорию Российской Арктики можно подразделить на две составные части, западную и восточную. К западной части относится территория севера европейской части России, районы, прилегающие к долине реки Енисей и южной части Обской губы, а также акватория Баренцева и Карского морей. На суше в ее пределах выявлены довольно существенные по размерам площади загрязнения почв радиоцезием активностью от 0,05 Ки/км² и более, в пределах акватории зафиксированы площадные аномалии ^{137}Cs в донных осадках с удельной активностью, достигающей 292 Бк/кг. К восточной части относится территория, расположенная к востоку от Енисея, включая акваторию моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Здесь как на суше, так и в ее акваториальной части аномалий по ^{137}Cs не зафиксировано.

В целом можно констатировать, что в региональном плане в пределах Российской Арктики опасного загрязнения изотопом ^{137}Cs не отмечается, за исключением ряда локальных участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины / Главный редактор Ю.А. Израэль. М.: ИГКЭ Росгидромета, Роскартография, 1998. 144 с.
- Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Белоруссии / Под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича. М.; Минск: Фонд «Инфосфера» – НИА-Природа, 2009. 140 с.
- Громов В.В., Спицин В.И. Искусственные радионуклиды в морской среде. М.: Атомиздат, 1975. 271 с.
- Гуревич В.И. Современный седиментогенез и геоэкология Западно-Арктического шельфа Евразии. М.: Научный мир, 2002. 134 с.
- Иванов Г.И. Геоэкология Западно-Арктического шельфа России: литолого-экогеохимические аспекты. СПб.: Наука, 2006. 303 с.
- Иванов Г.И. Губа Черная: что осталось после взрывов // Безопасность окружающей среды. 2007. № 3. С. 54–60.
- Израэль Ю.А. и др. Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской АЭС // Метеорология и гидрология. 1987. № 2. С. 5–18.
- Израэль Ю.А., Назаров И.М., Квасникова Е.В. Радиоактивное загрязнение местности. (Обзор загрязнения окружающей природной среды в Российской Федерации за 1997 г.). М.: Росгидромет, 1997.
- Карта объектов ядерного топливного цикла и радиоактивного загрязнения России. Масштаб 1:10 000 000 // Геологический Атлас России, раздел 4 / Ответственный редактор А.А.Смыслов, СПб.: ВСЕГЕИ, 1996.
- Матишов Г.Г., Матишов Д.Г. Особенности аккумуляции ^{137}Cs различными типами донных отложений в прибрежных водах Баренцева и Карского морей // Литология и полезные ископаемые. 1988. № 5. С. 540–554.
- Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Руссанен К. Радионуклиды в экосистеме Баренцева и Карского морей. Апатиты, 1994. 233 с.
- Национальный атлас России. Т. 2. Природа и экология. URL: <http://национальныйатлас.рф/cd2/> [дата обращения 01.11.2017].
- Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.
- Baskaran M., Asbil S., Santschi P., Brooks J., Champ M., Adkinson D., Colmer M.R., Makeyev V. Pu, ^{137}Cs and excess ^{210}Pb in russian Arctic sediments // Earth and Science Letters. 1996. Vol. 140. Is. 1. P. 243–257.

A.G. GRIGORIEV, E.N. NESTEROVA, I.A. NEEVIN, M.A. KHOLMYANSKII

THE SCHEME OF THE ANTHROPOGENIC RADIOACTIVE POLLUTION OF RUSSIAN ARCTIC

The paper presents the scheme of the anthropogenic radioactive pollution of Russian Arctic and describes the main principles of its compilation. The scheme shows the main polluted onshore and offshore areas and defines the supposed sources of the pollution.

Keywords: anthropogenic radioactivity, bottom deposits, radiocesium, Arctic seas.