

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2018-9-4-131-139

УДК 546.36 (268.45)

Г. В. Ильин, И. С. Усягина, Д. А. Валуйская, Т. М. Максимовская
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ИЗОТОПА ^{137}Cs В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИЙ 2017 ГОДА

Аннотация

В 2017 году проведены радиоэкологические исследования водных масс в западной части Баренцева моря. Выполнены измерения объемной активности ^{137}Cs в слоях воды на разрезах мыс Нордкап–о. Медвежий и о. Медвежий–мыс Зюйдкап вдоль западной границы моря и вековом разрезе “Кольский меридиан” ($33^{\circ}30'$ в. д.). Дан анализ широтного распределения концентраций ^{137}Cs в водных массах на западной окраине моря, показаны современные особенности трансокеанического потока этого радионуклида из Северной Атлантики в Баренцево море. Основной объем цезия вместе с атлантическими водами поступает в море через границу Нордкап–Медвежий в верхних слоях воды. В центральных районах моря в атлантических водах происходит снижение концентрации радионуклидов под воздействием гидродинамически активных зон.

Ключевые слова:

техногенный изотоп ^{137}Cs , Баренцево море, трансокеанический перенос.

G. V. Ilyin, I. S. Usyagina, D. A. Valuyskaya, T. M. Maksimovskaya
Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia

TECHNOGENIC ISOTOPE ^{137}Cs CONTENT IN THE WESTERN PART OF THE BARENTS SEA ACCORDING TO RESULTS OF EXPEDITIONS 2017

Abstract

Radioecological studies of seawater in the nondisclosure western part of the Barents Sea were conducted in 2017. Measurements of the ^{137}Cs volumetric activity in water layers on the North Cape–Bear Island and Bear Island–South Cape section along a western sea border and a century transect “Kola Section” ($33^{\circ}30'$ E). Latitudinal distribution analysis of ^{137}Cs concentrations in water masses at the western edge of the sea is presented, and current features of its transoceanic flow from the North Atlantic to the Barents Sea are shown. The main flow of Cs together with the Atlantic waters enters the sea through the North Cape–Bear Island border in the upper water layers. Radionuclides concentration decreases under the influence of hydrodynamically active zones in the sea central regions.

Keywords:

technogenic isotope ^{137}Cs , Barents Sea, transoceanic.

Введение. Изучение радиоэкологического состояния арктических морей ассоциируется, в первую очередь, с исследованием Баренцева моря. Это море подвержено наиболее сильному влиянию вод атлантического происхождения по сравнению с другими и морями Северного Ледовитого океана. Поток вод

из Северной Атлантики и поступающие с ними загрязнения определяют высокий уровень техногенного, в том числе радиационного воздействия на экосистему Баренцева моря.

Главным фактором радиационного загрязнения североатлантических вод принято считать сбросы отходов западноевропейских радиохимических предприятий. В основном это сбросы в Ирландское море стоков заводов “Селлафилд” (Вакуловский и др., 1988). Максимальные объемы сброса имели место в 1974–1978 гг. Время переноса загрязненных вод к границам Баренцева моря оценивалось в 5–6 лет, на примере анализа концентраций ^{137}Cs было показано, что в его бассейн поступало около 20 % сбрасываемых заводами в морскую среду радиоактивных отходов (Матишов, Матишов, 2001).

В 1990-х годах сбросы опасных загрязнителей североευропейскими предприятиями были во много раз снижены или прекращены. В морской среде это привело к интенсификации процессов естественного самоочищения. Однако и до настоящего времени поток атлантических вод остается основным фактором радиационного загрязнения Баренцева моря (Оценка ..., 2011; Ильин и др., 2015).

Несмотря на актуальность информации о поступлении в Баренцево море радионуклидов из сопредельных районов Северной Атлантики, прямых исследований загрязнения вод вдоль западных границ водоема очень мало, а в последнее десятилетие такие наблюдения не проводились (рис. 1).

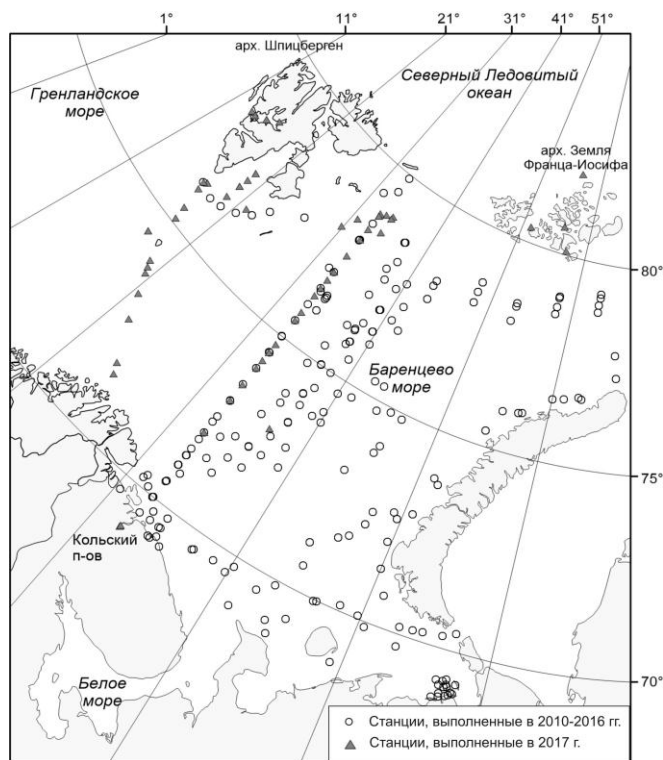


Рис. 1. Карта радиоэкологических наблюдений в 2010–2017 гг.
Fig. 1. Location scheme of radio ecological stations in 2010–2017

В связи с этим Мурманским морским биологическим институтом КНЦ РАН были выполнены соответствующие исследования водной среды и донного осадка. Данная работа основана на материалах этих исследований, ее цель – изучить радиоактивное загрязнение вод западной части Баренцева моря, получить данные, характеризующие современное загрязнение атлантических вод и перенос радионуклидов в его бассейн через западную границу.

Материал и методы. Экспедиционные исследования выполнены на НИС “Дальние Зеленцы” в июле–августе и ноябре–декабре 2017 г. Работы проведены на разрезах вдоль западной границы Баренцева моря мыс Нордкап (Скандинавский полуостров)–о. Медвежий, о. Медвежий–мыс Зюйдкап (Шпицберген), а также на разрезе “Кольский меридиан” (33°30' в. д.). В ходе работ были изучены термохалинная характеристика вод и измерена объемная активность ^{137}Cs в пробах воды. Материалы по разрезу “Кольский меридиан” дополнены данными соответствующих исследований 2015–2016 гг., когда всего было выполнено 55 станций, при этом в поверхностных слоях взято 55 проб воды, глубинных – 14, придонных – 15.

Сбор, обработку и анализ материалов осуществляли общепринятыми в международной практике методами. Радиологический анализ проб выполнен в лаборатории ММБИ. В пробах воды определена активность радиоизотопа ^{137}Cs . Для концентрирования ^{137}Cs из морской воды (объем пробы составлял не менее 100 л) использовали целлюлозный неорганический сорбент “Анфеж”.

Измерения активности радионуклидов в пробах сорбента и донного осадка выполнены на спектрометрах гамма-излучения InSpector-2000, гамма- и рентгеновского излучения b13237 (“Canberra”, США). Обработка и анализ спектров проведены с помощью программного обеспечения Genie-2000.

Измерения концентрации радионуклидов выполнены на различных горизонтах водной толщи. Полученные в разных, но взаимосвязанных течениях частях моря, данные хорошо дополняют друг друга и позволяют получить четкие представления о пространственных вариациях загрязнения водных масс атлантических течений.

Ранее радиоэкологические исследования выполнялись лишь в верхнем слое вод – 0–10 м.

Результаты и обсуждение. Эволюция радиационного состояния Баренцева моря прослеживается с конца 1950-х годов, с начала радиоэкологических исследований. Однако данные о радиоактивном загрязнении Баренцева моря в 1960-е годы ограничены. В литературных источниках приводятся в основном концентрации ^{137}Cs , которые характеризуются большим разбросом величин. Разными авторами среднегодовая объемная активность ^{137}Cs в этот период оценивалась от 5.5 до 25 Бк/м³ (Экология ..., 2001; Bouldakov et al., 2002).

В 1970-е годы, несмотря на большие расхождения в оценке, отмечался постоянный рост концентрации радионуклидов в морской воде. Диапазон концентраций ^{137}Cs в баренцевоморских водах неуклонно увеличивался от 5–7.5 Бк/м³ (1970–1972 гг.) до 9–15 Бк/м³ (1975–1978 гг.). В 1979 году содержание ^{137}Cs возросло, так его диапазон соответствовал 25–43 Бк/м³ (Pollution ..., 1997; Экология ..., 2001; Bouldakov et al., 2002). У западной границы с Норвежским морем (1979 г.) объемная активность ^{137}Cs в воде составляла 33 Бк/м³ (Никитин, 2009).

В 1980-е годы на основе более многочисленных и объективных данных оценки радиоактивного загрязнения уточнялись. Еще к середине десятилетия представления о загрязненности баренцевоморских вод характеризовались неопределенно, а точнее широким диапазоном концентраций ^{137}Cs – 17–43 Бк/м³. В итоге к 1989 г. средняя оценка объемной активности ^{137}Cs была снижена до 12 Бк/м³ (Pollution..., 1997; Экология..., 2001; Bouldakov et al., 2002).

Акватория Баренцева моря по линии разреза мыс Нордкап–о. Медвежий в 1981–1985 гг. была отмечена как район максимального загрязнения воды, при этом содержание радиоактивного цезия составляло 26–30 Бк/м³. Уже в 1989 г. его концентрация оценивалась в среднем как 6.4 Бк/м³.

Поверхностные воды прибрежного Норвежского течения у западной границы моря (район мыса Нордкап) в 1990-е годы содержали ^{137}Cs 3.7–5.0 Бк/м³ (Техногенные ..., 2005; Anthropogenic ..., 1998).

В новом тысячелетии тенденция снижения концентраций ^{137}Cs в баренцевоморской воде сохраняется вследствие сокращения поступлений радиоизотопов с атлантическими водами через западную границу моря. В 2000-х годах в атлантических водах вдоль разреза мыс Нордкап–о. Медвежий содержание радиоизотопа ^{137}Cs снижалось с небольшими колебаниями до 2–3 Бк/м³, к концу первого десятилетия – до 1.2–2 Бк/м³. Но исследовался лишь верхний 10-метровый слой воды (Никитин, 2009; Оценка ..., 2011).

По имеющимся на этот период собственным и литературным данным была восстановлена многолетняя динамика изменения радиационной загрязненности вод Баренцева моря (Оценка ..., 2011). Расчеты показали, что снижение объемной активности ^{137}Cs в водах морского бассейна в целом подчиняется экспоненциальному закону и с высокой степенью достоверности ($R^2 = 0.91$) описывается функцией $y = 36.069e^{-0.097x}$, где x – количество лет, прошедших после максимума загрязнения. Время, за которое происходит уменьшение концентраций ^{137}Cs в 2 раза, для Баренцева моря составляет около 7 лет, что меньше физического периода полураспада рассматриваемого радионуклида. Это вполне объяснимое явление в динамичной морской среде, которое определяется гидрологическими процессами перераспределения радионуклидов, водообменом с прилегающими морями, геохимическими процессами в толще вод и на границе вода – донный осадок.

Но уже с 2010 г. стал очевиден недостаток информации о загрязнении вод в западной части моря и на его западной границе, через которую поступают техногенные радионуклиды с трансокеаническим потоком.

В связи с этим в 2017 г. были проведены экспедиционные исследования по двум разрезам, проходящим вдоль западной географической границы Баренцева моря и отделяющим его от Норвежского и Гренландского морей. Для получения более точной оценки загрязненности атлантических вод и выяснения закономерностей перераспределения перераспределения ^{137}Cs в Баренцевом море было дополнительно исследовано загрязнение вод на вековом разрезе “Кольский меридиан” (рис. 1).

Послойное взятие проб позволило построить вертикальный разрез распределения ^{137}Cs . Для объяснения полученных результатов были привлечены гидрологические данные. В частности разрез по солености наиболее адекватно характеризует типологию водных масс на западной границе моря (рис. 2).

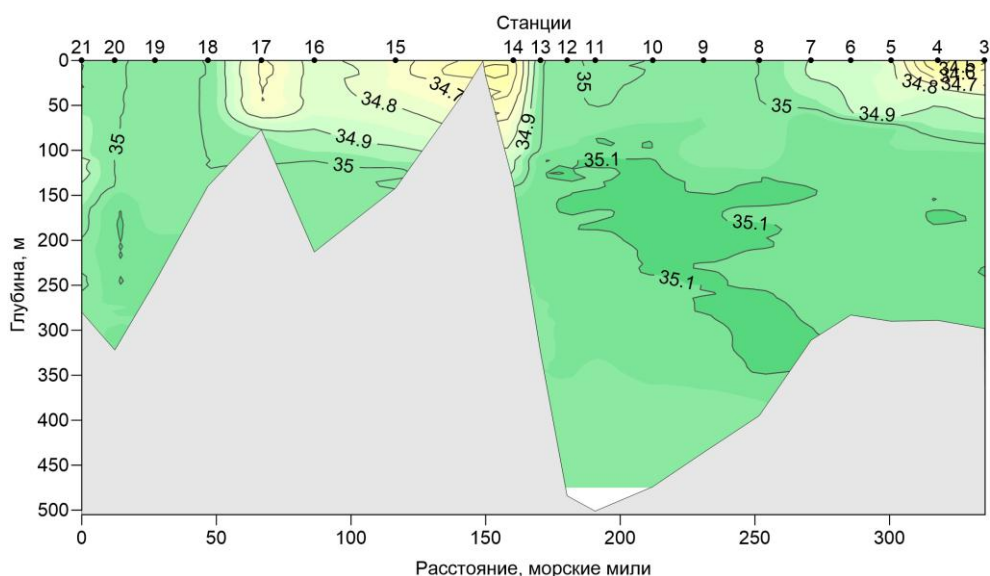


Рис. 2. Распределение солености (S, ‰) в вертикальном сечении водных масс по разрезам мыс Зюйдкап–о. Медвежий и о. Медвежий–мыс Нордкап 11–14 ноября 2017 г.

Fig. 2. The salinity profile (S, ‰) in the water of the section from Sørkapp to Vjørnøya and Nordkapp. November 11–14, 2017

Поток атлантических вод на границе моря разделен подводным Медвежинским поднятием и о. Медвежий на Нордкапское (станции 6–13) и Южно-Шпицбергенское (станции 18–21) течения, которые хорошо выделены в поле солености максимальными величинами последней (рис. 2). На южной периферии Нордкапского течения атлантические воды (Мурманское течение) в верхнем слое до 50 м перекрыты прибрежными

водами, и во фронтальной зоне их термохалинные свойства отчасти трансформированы смешением с прибрежным течением.

Атлантические воды по-прежнему характеризуются максимальной концентрацией радионуклидов. Однако ветви атлантического потока неодинаково насыщены радионуклидами, а распределение объемной активности ^{137}Cs неравномерно на вертикальном профиле атлантической водной массы (рис. 3).

Основной поток цезия вместе с атлантическими водами поступает в Баренцево море через границу Нордкап–Медвежий. Максимальная концентрация этого изотопа отмечается в верхних слоях потока атлантических вод во всех ветвях Нордкапского течения – Северной (станции 11–13), Центральной (станции 8–10) и Мурманской (станции 4–6). В ядре потока атлантических вод в слое 150–350 м концентрация цезия заметно ниже и еще больше снижается ко дну. Причины такой дифференциации, по-видимому, объясняются особенностями гидродинамики вод и сброса загрязнителей в Ирландское море. Стоки Селлафилда из Ирландского моря попадают в верхние слои высокосоленого океанического Северо-Атлантического течения и распространяются далее.

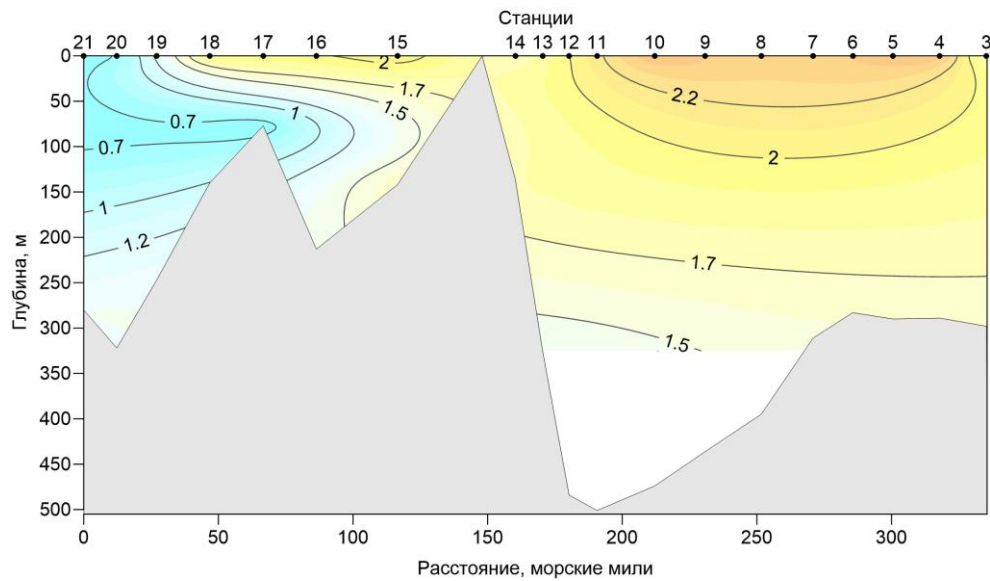


Рис. 3. Распределение удельной активности ^{137}Cs (Bq/m^3) в вертикальном сечении водных масс по разрезам мыс Зюйдкап–о. Медвежий и о. Медвежий–мыс Нордкап 11–14 ноября 2017 г.

Fig. 3. Distribution of ^{137}Cs activity (Bq/m^3) in the water of the section from Sørkapp to Bjørnøya and Nordkapp. November 11–14, 2017

В смешанных водах холодного Медвежинского течения, омывающих о. Медвежий, концентрация цезия также убывает.

В водах петли Южно-Шпицбергенского теплого течения на разрезе (станции 18–20) обнаружена самая низкая объемная активность цезия.

Одной из причин такой дифференциации, по-видимому, может быть обособление Западно-Шпицбергенского течения от наиболее загрязненного Норвежского течения еще в районе Ирландского моря, где загрязнители попадают в поток атлантических вод (Северо-Атлантическое течение).

Второй причиной может быть флуктуация Южно-Шпицбергенского течения, ослабление его мощности, что заметно по снижению на 2 °С температуры воды по сравнению с Нордкапским течением. Устойчивость указанного явления не позволяет оценить недостаточное изучение западного переноса радионуклидов в прошлом.

Перераспределение поступающего через западную границу ^{137}Cs в водных массах Баренцева моря начинается при разделении ветвей Нордкапского течения. В целом, четкие представления об этом процессе можно получить из анализа вертикального профиля термохалинных характеристик водных масс и объемной активности ^{137}Cs на разрезе “Кольский меридиан” (рис. 4). Детализированные представления о вертикальном профиле объемной активности ^{137}Cs на разрезе можно получить с привлечением к анализу данных радиологических исследований 2015–2016 гг. (рис. 5).

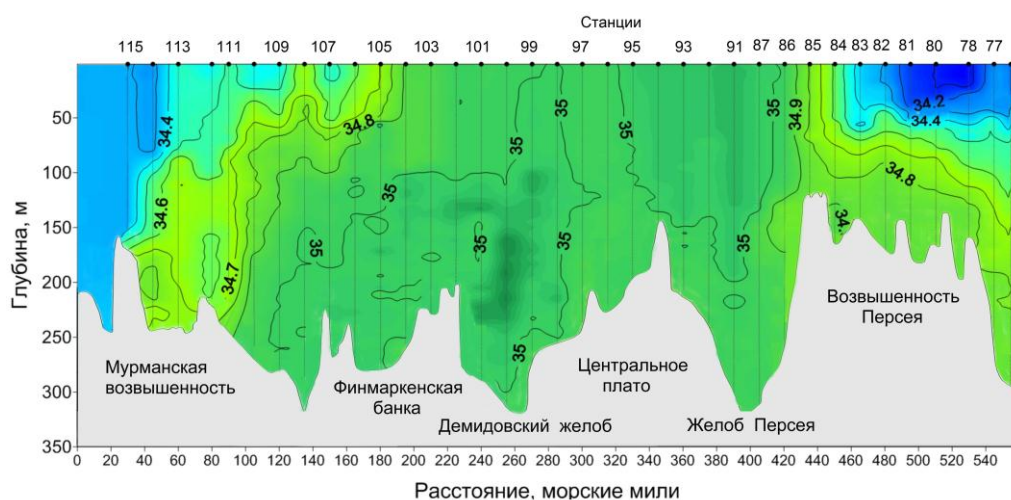


Рис. 4. Распределение солености (S , ‰) в вертикальном сечении водных масс вдоль разреза “Кольский меридиан” 11–14 ноября 2017 г.

Fig. 4. Salinity distribution (S , ‰) in the water of the section “Kola Meridian” (33°30' E). November 11–14, 2017

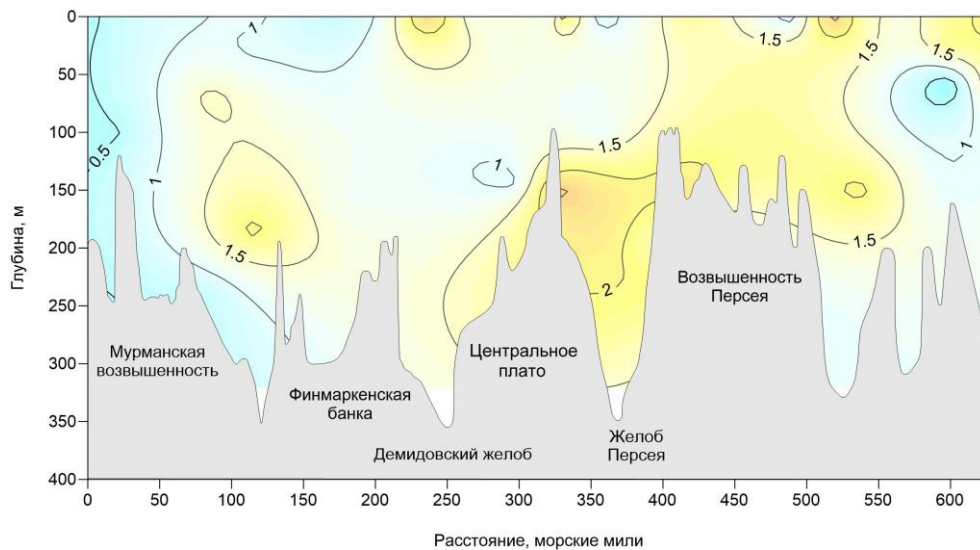


Рис. 5. Распределение удельной активности ^{137}Cs (Bq/m^3) в вертикальном сечении водных масс вдоль разреза “Кольский меридиан” 11–14 ноября 2017 г.

Fig. 5. Distribution of ^{137}Cs activity (Bq/m^3) in the water of the section “Kola Meridian” ($33^\circ 30' \text{ E}$). November 11–14, 2017

На разрезе “Кольский меридиан”, ближе к центральной части моря, наблюдается размывание входящего потока цезия при смешении атлантических вод, циркулирующих в местных круговоротах в общем объеме баренцевоморской водной массы. Концентрация цезия заметно снижается – 1–1.5 Bq/m^3 . Локальные участки повышенной концентрации регистрируются в верхнем слое атлантических вод Мурманской, Центральной и Северной ветвей Нордкапского течения. Однако более всего выделяются воды полярной фронтальной зоны в районе возвышенности Персея.

Прибрежные воды у берегов Мурманска обеднены радиоцезием.

Очаги повышенного содержания ^{137}Cs образуются у дна в местах погружения верхних водных слоев при зимней конвекции и при фронтальном взаимодействии. Как правило, это глубоководные желоба, с ослабленной гидродинамикой в котловинах.

Таким образом, материалы, полученные в экспедиционных исследованиях 2017 г., позволили существенно дополнить многолетний ряд наблюдений за динамикой объемной активности ^{137}Cs в водах на западной границе Баренцева моря. Результаты исследования показали, что атлантические воды по-прежнему выделяются максимальным содержанием радионуклидов. Однако не все ветви атлантического потока равномерно и одинаково ими насыщены. Основной поток цезия вместе с атлантическими водами поступает в море через границу мыс Нордкап–о. Медвежий. Максимальная концентрация изотопа отмечается в верхних

слоях потока. С продвижением потока вод к центральной части моря концентрация радионуклидов в атлантических водах снижается за счет диссипации потока и перераспределения пассивных примесей в окружающих водах. С 2000 года изменения концентраций радионуклида носят автоколебательный характер.

Работа выполнена по теме 9-18-02 (133; 137) в рамках государственного задания № 0228-2018-0018.

Литература

Вакуловский С. М., Никитин А. И., Чумичев В. Б. Загрязнение Белого моря радиоактивными отходами западноевропейских стран // Атомная энергия. 1988. Т. 65. Вып. 1. С. 66–67.

Ильин Г. В., Усягина И. С., Касаткина Н. Е. Геоэкологическое состояние среды морей российского сектора Арктики в условиях современных техногенных нагрузок // Вестн. Кольского науч. центра РАН. 2015. № 2. С. 82–93.

Матишов Д. Г., Матишов Г. Г. Радиационная экологическая океанология. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. 418 с.

Никитин А. И. Натурные исследования последствий сброса и захоронения радиоактивных отходов в моря Северного и Дальневосточного регионов Российской Федерации: Дис. ... докт. географ. наук. Обнинск: Институт проблем мониторинга окружающей среды, 2009 г. 204 с.

Оценка потоков ^{137}Cs и ^{90}Sr в Баренцевом море / Г. Г. Матишов, Д. Г. Матишов, И. С. Усягина и др. // Докл. РАН. 2011. Т. 439, № 6. С. 822–827.

Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря (“Белая книга-2000”) / Ю. В. Сивинцев, С. М. Вакуловский, А. П. Васильев и др. М.: Изд. АТ, 2005. 624 с.

Экология промысловых видов рыб Баренцева моря. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. 221 с.

Anthropogenic radioactivity in the Nordic Seas and the Arctic Ocean – Results of a Joint Project / H. Nies, I. H. Harms, C. Bahe et al. // German J. Hydrography. 1998. Vol. 50, № 4. P. 313–343.

Bouldakov V. V., Kryshev I. I., Rissanen K. Dose estimation for the population due to consumption of foodstuff from the Barents Sea // Thesis the 5th international conference on Environmental radioactivity in the Arctic and Antarctic St. Peterburg, Russia 16–20 June 2002. St. Peterburg, 2002. P. 21–23.

Pollution Issues: a state of the Arctic Environment Report AMAP. Oslo, 1997. 120 p.