



Биология и экология гидробионтов

УДК 504.5:546.79:[551.35+597](262.54)

ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ЦЕЗИЯ-137 ДОННЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ И ВОДНЫМИ БИОРЕСУРСАМИ АЗОВСКОГО МОРЯ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

© 2020 И. Д. Мхитарьян, И. В. Кораблина

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»),
Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону 344022, Россия
E-mail: mhitarian_i_d@azniirkh.ru*

Аннотация. Приведены результаты радиоэкологических исследований донных отложений Азовского моря в течение 2017–2019 гг. Загрязнение донных отложений Азовского моря за время исследований мозаично и определяется перераспределением, в основном постчернобыльских выпадений. Оценены уровни загрязненности донных отложений радиоактивным цезием по сравнению со среднемноголетними показателями. Представлены результаты наблюдений за содержанием радиоактивного цезия в основных промысловых видах рыб Азовского моря за период с 2017 по 2019 г. Приведено сравнение уровней содержания цезия-137 в мышцах рыб в соответствии с гигиеническими требованиями безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов, санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами, действующими на территории Российской Федерации. Показано, что содержание цезия-137 в биоресурсах Азовского моря находится значительно ниже допустимого уровня содержания этого изотопа в рыбах и не представляет радиационной опасности. Радиационно-экологическое состояние бассейна Азовского моря в исследуемый период не вызывает опасений в отношении накопления изотопа цезия-137. Радиоэкологический мониторинг акватории Азовского моря в течение 2017–2019 гг. показал, что главным источником радиационного загрязнения остается Чернобыльский след.

Ключевые слова: цезий-137, донные отложения, морские виды рыб, Азовское море, удельная активность

ASSESSMENT OF CAESIUM-137 ACCUMULATION IN THE BOTTOM SEDIMENTS AND AQUATIC BIORESOURCES OF THE AZOV SEA AT THE PRESENT TIME

I. D. Mkhitaryan, I. V. Korablina

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI “VNIRO”),
Azov-Black Sea Branch of the FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKH”), Rostov-on-Don 34422, Russia
E-mail: mhitarian_i_d@azniirkh.ru*

Abstract. The results of radioecological investigation of the bottom sediments in the Azov Sea are given for 2017–2019. Pollution of the Azov Sea bottom sediments during the period under study has been detected sporadically and is determined by redistribution of predominately post-Chernobyl fallout. The level of caesium-137 pollution of the bottom sediments has been evaluated in comparison with its long-term average values. The results of monitoring of radiocaesium content in the main commercial fish species of the Azov Sea are presented for the same period. Comparison of caesium-137 content in the fish muscle tissues according to the sanitary and epidemiological regulations and standards, currently in force in the Russian Federation, is made. It is shown that the content of caesium-137 in the aquatic biological resources of the Azov Sea is much lower than the maximum permissible content of this isotope in fish and does not pose a radiation threat. For the investigated period, the state of the Azov Sea environment in terms of radiation does not give cause for concern pertaining to the accumulation of caesium-137 isotope. Radioecological monitoring of the Azov Sea area in 2017–2019 has revealed that Chernobyl trace remains the main source of radiation pollution.

Keywords: caesium-137, bottom sediments, marine fish, Azov Sea, specific activity

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что Азовское море — самое мелкое море на планете, оно является уникальным природным объектом, имеющим богатый мир флоры и фауны. В течение многих лет Азовское море отличалось высокой рыбопродуктивностью, которая обеспечивалась как раз за счет мелководности и значительного объема речного стока [1]. Широкое распространение в водах Азовского моря получили представители ихтиофауны пресноводных водоемов, велико значение проходных и полупроходных видов рыб.

Важность сохранения Азовского моря в чистом виде очевидна. Значительная доля загрязнения попадает в водоем с переносом воздушных масс; большой вред наносится в ходе разведывательного бурения на шельфе, при аварии морских судов и авиации, в результате морских перевозок судов, со сточными водами прибрежных городов, от применения химических веществ в сельском хозяйстве [2]. Азовское море находится в зоне влияния Ростовской атомной станции, и в случае возникновения чрезвычайной ситуации возможно ожидать быстрое радионуклидное загрязнение водоема, т. к. в качестве водоема-охладителя АЭС используется естественный залив, отгороженный от Цимлянского водохранилища р. Дон грунтовой дамбой [3]. Однако основное загрязнение Азовского моря радиоактивными элементами произошло в результате аварии на Чернобыльской АЭС [4]. В силу мелководности и относительной замкнутости Азовское море можно рассматривать как модельный морской водоем, в котором особенности накопления и перераспределения радионуклидов в экосистеме проявляются достаточно показательно [5]. В настоящее

время в бассейне Азовского моря отсутствуют действующие источники загрязнения радионуклидами.

К числу основных техногенных радионуклидов, загрязняющих окружающую среду, относится долгоживущий изотоп цезия-137, являющийся опасным для живых существ, включая человека. В момент выброса цезия-137 в окружающую среду он находится в хорошо растворимом состоянии (мелкодисперсные частицы, типа пыли; парогазовая фаза и т. д.). Этот факт значительно облегчает его дальнейшую миграцию. Выпавший на поверхность земли радиоактивный цезий перемещается под воздействием природных факторов в горизонтальном и вертикальном направлениях. Горизонтальная миграция происходит при ветровой эрозии почв, смывании атмосферными осадками в низменные бессточные участки. Вертикальный перенос цезия происходит с фильтрационными токами воды и связан с деятельностью почвенных животных и микроорганизмов, выносом из корнеобитаемого слоя почвы в наземные части растений и др. [6].

Наиболее значимым источником информации о внешнем воздействии радионуклидов являются донные отложения. В водоеме донные осадки служат главной депонирующей средой и несут основную информацию о радиоактивном загрязнении, тем самым являясь показательным фактором качества транспортирующих их вод [7]. В современный период, несмотря на снижение поступления цезия-137 из атмосферы, притока из других морей и водосборной территории, донные отложения Азовского моря могут стать главным источником вторичного загрязнения его вод [8].

Наряду с другими загрязняющими веществами, гидробионты активно аккумулируют цезий-137 из воды, донных отложений и кормов. Вместе с про-

дуктами промысла радионуклиды попадают в организм человека как в конечное звено пищевой цепи [9].

Накопление радиоактивных веществ органами и тканями рыб, а также их распределение и выделение зависят от целого ряда условий, основными из которых являются: химическая природа изотопа, период полураспада, концентрация в среде, возраст и физиологическое состояние рыб. Ионизирующее излучение оказывает разрушающее действие на организм рыб. Оно проявляется на всех стадиях развития: на оплодотворенной и развивающейся икре, на личинках, мальках, взрослых рыбах. В зависимости от дозы облучения наблюдаются тяжелые поражения половых желез, кроветворных органов, дефекты в развитии и уродства, отставание в росте. Под действием цезия-137 проявляются различные генетико-биохимические аномалии. Рыбы, загрязненные радиоактивными изотопами, являются опасными источниками заражения других животных и человека [10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В задачу настоящей работы входило исследовать накопления цезия-137 в донных отложениях и гидробионтах Азовского моря за период 2017–2019 гг.

Пробы донных отложений в Азовском море отбирались в ходе комплексных экспедиций Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») дважды в год (летом и осенью 2017–2019 гг.) на 24 станциях многолетней стандартной сетки наблюдений в собственно море и на 9 станциях — в Таганрогском заливе. Для отбора донных отложений использовался дночерпатель Петерсена с площадью захвата 0,1 м². Отбор проб донных отложений проводился в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01 [11]. Доставленные образцы донных отложений отделяли от посторонних включений и высушивали в сушильном шкафу в соответствии с методическими рекомендациями [12].

Материалом для радиологических исследований послужили промысловые виды рыб: барабуля *Mullus barbatus*, бычок-кругляк *Neogobius melanostomus*, камбала-калкан *Scophthalmus maeoticus*, пиленгас *Planiliza haematocheila*, ставрида черноморская *Trachurus mediterraneus*, сельдь азово-черноморская *Alosa immaculata*, судак *Sander lucioperca*, тарань *Rutilus heckelii*, тюлька *Clupeonella cultriventris*, хамса *Engraulis encrasicolus*, выловленные в Азовском море в ходе

комплексных экспедиций в весенний, летний и осенний периоды 2017–2019 гг. Отбор проб рыб проводился в соответствии с ГОСТ 32164 [13]. Точечные пробы отбирались с учетом размера рыбы целыми тушками (с головами): не менее шести рыб при массе одного экземпляра от 0,1 до 0,5 кг; не менее трех рыб при массе экземпляра от 0,5 до 1 кг; одна рыба при массе экземпляра от 1 до 3 кг. При массе экземпляра более 3 кг отбирали пробы около приголовка, средней и предхвостовой частей (с костями). Масса средней пробы для испытания составляла не менее 1 кг. Отобранные образцы рыбы перед анализом очищали от механических загрязнений и чешуи, удаляли внутренности, из головы — жабры, замороженную рыбу размораживали до температуры минус 1 °С. Мелкую рыбу (не более 0,1 кг) мыли и использовали для анализа без разделки [13]. Пробы измельчали с помощью ножа или мясорубки с целью усреднения пробы и увеличения массы счетного образца в заданной геометрии измерения в соответствии с методическими рекомендациями [14].

Перед проведением испытаний на содержание цезия-137 в пробах донных отложений и гидробионтов выполняли дозиметрический контроль по мощности дозы гамма-излучения с помощью дозиметра ДКГ-07Д «Дрозд». Удельную активность цезия-137 в донных отложениях и гидробионтах определяли на гамма-спектрометре установки спектрометрической МКС-01А «Мультирад». Измерение активности цезия-137 в донных отложениях и гидробионтах проводили согласно «Методике измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс», зарегистрированной в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений ФР.1.40.2017.25774 [15]. Безопасность уровня накопления цезия-137 в тканях рыб оценивали в соответствии с санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.21078-01» и техническим регламентом ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [16, 17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В течение всего периода наблюдений средняя удельная активность цезия-137 в донных отложениях Азовского моря варьировала от 7,99±3,08 до

10,43±2,49 Бк/кг сухой массы (табл. 1). В Азовском море максимальная средняя удельная активность цезия-137 отмечалась в донных отложениях в 2018 г., минимальная — в 2017 г. В Таганрогском заливе самым активным в отношении накопления радиоактивного изотопа цезия также оказался 2018 г.

Анализ полученных результатов показал, что средние значения удельной активности цезия-137 в донных отложениях Азовского моря за исследуемый период были примерно близки.

Распределение радиоактивного цезия в Азовском море определяется не только расположением источников его поступления, но и естественными факторами и процессами: геоморфологическими и литологическими особенностями морского дна, уровнем солености водоема, водообменом с Черным морем, гидродинамическими режимами [18]. В Азовском море состав донных отложений меняется от крупнодисперсной песчано-ракушечной до мелкодисперсной илистой фракции. Илистые составляющие донных отложений обладают лучшей сорбционной способностью и накапливают большие количества токсикантов [5, 19].

Согласно результатам проведенных исследований, повышенная активность цезия-137 наблюдается в глубоководной центральной и западной частях Азовского моря, в местах, где происходит активная аккумуляция органического ила. Максимальная активность радиоцезия регистрировалась в 2019 г. в глинистых илах южного глубоководного района Азовского моря (до 17,09 Бк/кг) и в западной части Таганрогского залива (до 13,87 Бк/кг). Минимальная удельная активность цезия-137 зафиксирована в песках восточной части Азовского моря в 2019 г. (до 9,63 Бк/кг).

Согласно данным Мурманского морского биологического института, проводившего исследования донных осадков Азовского моря в 90-х XX в., содержание радиоактивного цезия в донных осадках собственно моря составляло 10–80 Бк/кг, Таганрогского залива — 10–100 Бк/кг сухой массы [20].

В соответствии с литературными данными, в 2004–2006 гг. в Азовском море максимальная удельная активность радиоактивного цезия достигла 80 Бк/кг, в 2014–2015 гг. — 65,4 Бк/кг сухой массы. Современный уровень накопления цезия-137 в донных отложениях Азовского моря точно колеблется в широком диапазоне от 0,4 до 65,4 Бк/кг, при среднем значении 29,5±18,9 Бк/кг [21]. Следовательно, за более чем 25-летний период содержание цезия-137 в донных отложениях Азовского моря понизилось в среднем в 4 раза, однако еще сохраняются локальные участки с повышенным содержанием радионуклида.

Уровни накопления цезия-137 в мышечной ткани ряда промысловых видов рыб Азовского моря в течение периода наблюдений различались (табл. 2). В период 2017–2019 гг. были обследованы:

- бычок-кругляк (*Neogobius melanostomus*) — относится к категории донных рыб, ведет оседлый образ жизни, предпочитает держаться как можно ближе к берегу, на дне. Основу рациона бычка составляют мелкие личинки, рачки, креветки, червячки, моллюски, некоторые виды мальков. Бычок весьма уязвим перед хищными рыбами, т. е. является промежуточным видом пищевой цепи в водоеме;
- хамса (азовский анчоус) (*Engraulis encrasicolus*) — пелагическая жительница моря, обитает в толще либо на поверхности воды, не опускаясь на глубину. Питается фитопланктоном,

Таблица 1. Средние концентрации удельной активности цезия-137 в донных отложениях Азовского моря, 2017–2019 гг., Бк/кг сухой массы

Table 1. Average concentrations of caesium-137 specific activity in the bottom sediments of the Azov Sea, 2017–2019, Bq/kg of dry weight

Район / Area	Удельная активность цезия-137, Бк/кг сухой массы Specific activity of caesium-137, Bq/kg of dry weight		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Азовское море Azov Sea	8,96±2,77	10,43±2,49	9,01±3,24
Таганрогский залив Taganrog Bay	8,21±2,51	9,54±2,27	7,99±3,08

Таблица 2. Удельная активность цезия-137 в рыбах Азовского моря за 2017–2019 гг., Бк/кг сырой массы

Table 2. Specific activity of caesium-137 in the Azov Sea fish species in 2017–2019, Bq/kg of dry weight

Вид рыб Fish species	Мин. Min	Макс. Max	Средняя Average
Бычок-кругляк Round goby	2,86	4,75	3,43
Хамса European anchovy	2,86	5,10	3,26
Тюлька Black Sea sprat	2,86	4,75	3,06
Пиленгас So-iuyu mullet	3,04	6,51	4,42
Камбала-калкан Black Sea turbot	3,84	4,23	4,04
Тарань Roach	2,86	3,50	3,10
Судак Zander	6,55	7,97	7,26
Барабуля Red mullet	2,96	3,25	3,10
Ставрида черноморская Black Sea horse mackerel	3,52	5,56	4,54
Сельдь черноморско- азовская Pontic shad	2,96	3,15	3,06

ракообразными и моллюсками, их личинками, червями и мальками рыб. Сама является кормом для хищных рыб;

- тюлька (*Clupeonella cultriventris*) — пелагическая рыба, основную часть жизни проводит в толще воды. Основу рациона составляет зоопланктон. Тюлька занимает основное место в пищевой цепочке, являясь кормом для хищных рыб (судака, чехони);
- пиленгас (*Planiliza haematocheila*) — питается преимущественно перифитомом, детритом, различными мелкими донными беспозвоночными, в Азовском море — также морскими червями nereисами (*Nereis Linnaeus*). Крупные особи потребляют тюльку, хамсу, молодь бычка;
- камбала-калкан, или азовский калкан (*Scophthalmus maeoticus*) — хищная рыба. Питается мелкими ракообразными, моллюс-

ками, взрослые особи — донной рыбой, крабами, хамсой, шпротом, ставридой, тюлькой и т. д.;

- тарань азово-черноморская (*Rutilus heckelii*) — полупроходная разновидность обыкновенной плотвы. Обитает в Азовском море, откуда для нереста входит в реки, пелагическая рыба;
- судак (*Sander lucioperca*) — рыба плотоядная, хищная, один из видов, входящих в семейство окуневых. Постоянное место обитания — малосолёная акватория Азовского моря, где он кормится тюлькой, бычками и чехонью;
- барабуля (*Mullus barbatus*) — хищная рыба, в рацион которой входят обитатели морского дна. Держится стаями, предпочитает илистое или песчаное дно;
- ставрида черноморская (*Trachurus mediterraneus*) — стайная пелагическая рыба. Охотится в толще воды, но может опуститься на дно, чтобы схватить мелкую добычу;
- черноморско-азовская морская сельдь (*Alosa immaculata*) — хищный вид рыб, ведущий стайный образ жизни. В основной рацион входят тюлька и хамса. Ценный объект рыбного промысла.

За период исследований минимальная активность цезия-137 отмечалась в тканях бычка-кругляка, хамсы, тюльки, тарани, максимальная — у судака, пиленгаса, камбалы-калкан, ставриды черноморской.

Различия в накоплении изотопа цезия разными видами рыб объясняются, главным образом, видовыми и физиологическими особенностями, а также типом питания [22]. Так, хищники и бентофаги, как правило, накапливают цезий-137 в больших количествах, чем планктофаги и мирные виды рыб. В период наблюдений удельную концентрацию цезия-137 максимально регистрировали в тканях именно хищных рыб: у судака — до 7,26 Бк/кг, камбалы-калкан — до 4,04 Бк/кг, пиленгаса — до 4,42 Бк/кг сырой массы. В 1996–2002 гг. в камбале Балтики регистрировали уровни цезия-137 до 14,0 Бк/кг и только в последние годы — не более 5,4 Бк/кг сырой массы, а в начале 2000 г. в тканях судака Вислинского залива — до 28,9 Бк/кг, в современный период — не более 16,6 Бк/кг сырой массы [23]. Согласно радиоэкологическим исследованиям, проводимым Азово-Черноморским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») в северо-восточной части Черного моря в 2012–2016 гг., наиболее загрязнены

цезием-137 были также хищные виды рыб. Максимальная концентрация радиоцезия в тканях хищников достигала 8,09 Бк/кг [24].

Повышенная концентрация загрязняющих веществ у хищников, которые являются высшим звеном экологической цепочки, закономерна и для других исследованных токсичных элементов [25].

Нормы на содержание радионуклидов в рыбе как пищевом продукте регламентированы СанПиН 2.3.2.1078-01 (с изменениями и дополнениями) и ТС ТР 021/2011 [16, 17]. Содержание цезия-137 во всех обследованных видах рыб Азовского моря в течение всего периода наблюдений находилось значительно ниже допустимого уровня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современный период (2017–2019 гг.) концентрация цезия-137 в донных отложениях Азовского моря сохраняется примерно на одном довольно низком уровне. Обследованные виды промысловых объектов Азовского бассейна по содержанию в мышечной ткани цезия-137 не опасны для потребителей. Радиационно-экологическое состояние донных осадков и водных биоресурсов Азовского бассейна не вызывает опасений в отношении загрязнения радиоактивным цезием. Чернобыльский след по-прежнему остается главным источником радиоактивного изотопа цезия, однако регистрируется практически в следовых количествах. Поступление техногенного радиоактивного цезия в связи с работой Ростовской АЭС в экосистему водоема не зафиксировано.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологический атлас. Черное и Азовское моря / Под ред. А.И. Исаченко, Е.А. Смирновой. М.: Изд-во Фонда «НИР», 2019. 464 с.
2. Беленко Т.А. Экологические проблемы Черного и Азовского морей — естественнонаучные и социальные аспекты. Таганрог, 2014. 96 с.
3. Дроздов В.В. Особенности многолетней динамики экосистемы Азовского моря под влиянием климатических и антропогенных факторов // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2010. № 15. С. 155–176.
4. Буфетова М.В. Радиоактивное загрязнение Азовского моря долгоживущими радионуклидами ^{90}Sr и ^{137}Cs : дис. ... канд. геогр. наук. Мурманск, 2002. 148 с.
5. Касаткина Н.Е. Адсорбция радионуклидов цезия на донных отложениях и оценка радиэкологической ситуации в бассейнах Баренцева и Азовского морей : дис. ... канд. хим. наук. Иваново, 2008. 139 с.
6. Баюров Л.И. Курс лекций по сельскохозяйственной радиологии : учеб. пособие. Краснодар: Изд-во Кубанского государственного аграрного университета, 2009. 112 с.
7. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Особенности геохимии донных отложений речной сети полуострова Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2018. № 4 (40). С. 23–37. doi: 10.31431/1816-5524-2018-4-40-23-37.
8. Матишов Г.Г., Усягина И.С., Польшин В.В. Динамика загрязнения Азовского моря изотопом ^{137}Cs в 1966–2013 гг. // Доклады Академии наук. 2015. Т. 460, № 6. С. 716–721. doi: 10.7868/S0869565215060237.
9. Ким Д., Геращенко Л.А. Радиационная экология : учеб. пособие. Братск: Изд-во Братского государственного университета, 2010. 213 с.
10. Бекман И.Н. Радиэкология и экологическая радиохимия : учебник для вузов. М.: Юрайт, 2019. 497 с.
11. ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012787> (дата обращения 05.06.2020).
12. Методические рекомендации по приготовлению счетных образцов для спектрометрических комплексов с программным обеспечением «Прогресс» / Сост. С.Ю. Антропов, А.П. Ермилов, Н.А. Комаров, С.А. Ермилов, И.И. Крохин. М.: Изд-во ВНИИФТРИ, Изд-во НТЦ Амплитуда, 2008. 17 с.
13. ГОСТ 32164-2013 Продукты пищевые. Метод отбора проб для определения стронция Sr-90 и цезия Cs-137. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105388> (дата обращения 05.06.2020).
14. Методические рекомендации. Использование компьютеризованных гамма-, бета-спектрометрических комплексов с программным обеспечением «Прогресс» для испытаний проб продовольствия на соответствие требованиям критериев радиационной безопасности / Сост. С.Ю. Антропов, А.П. Ермилов, С.А. Ермилов. М.: Изд-во НТЦ Амплитуда, 2009. 29 с.
15. ФР 1.40.2017.25774 Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». М.: Изд-во НТЦ Амплитуда, 2016. 38 с.
16. СанПиН 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Постановление № 36 от 14.11.2001 г. Дата введения: 01.07.2002 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901806306> (дата обращения 05.06.2020).
17. ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880 «О безопас-

- ности пищевой продукции». URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения 05.06.2020).
18. Федоров Ю.А., Кузнецов А.Н., Давыдов М.Г., Трофимов М.Е., Ленец Е.Н. Цезий-137 в воде и донных отложениях (по результатам экспедиции «Азовское море — 2006») // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2007. Спецвып. С. 26–31.
 19. Корпакова И.Г., Кленкин А.А., Конев Ю.В., Елецкий Б.Д., Каталевский Н.И., Павленко Л.Ф. Новый подход к оценке загрязненности донных отложений Азовского моря // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2005. № 2. С. 45–53.
 20. Матишов Д.Г., Матишов Г.Г. Радиационная экологическая океанология. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2001. С. 183–188.
 21. Усягина И.С., Матишов Г.Г., Касаткина Н.Е., Польшин В.В. Радиоактивное загрязнение Азовского моря (1966–2015 гг.) // Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии : матер. Междунар. науч. конф. и молодежной науч. конф. памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 5–8 сентября 2016 г.). Ростов-н/Д.: Изд-во Южного научного центра РАН, 2016. С. 246–249.
 22. Алимова Г.С., Уткина И.Н. Содержание ^{137}Cs и ^{40}K в донных отложениях и рыбах р. Иртыш и р. Тобол // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 9. С. 101–104.
 23. Васюкевич Т.А., Нитиевская Л.С. Содержание ^{137}Cs в массовых рыбах Балтийского моря, Вислинского и Куршского заливов в 1996–2002 и 2015–2016 годы // Труды АтлантиНРО. 2018. Т. 2, № 1 (5). С. 22–28.
 24. Мхитарьян И.Д. Многолетний мониторинг содержания радиоцезия в экосистеме северо-восточной части Черного моря // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность — 2017 : матер. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Севастополь, 11–15 сентября 2017 г.). Севастополь: Изд-во Севастопольского государственного университета, 2017. С. 934–937.
 25. Кораблина И.В., Барабашин Т.О., Каталевский Н.И., Евсева А.И. Мышьяк в промысловых рыбах пресноводных водоемов Северо-Кавказского региона и среде их обитания // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2, № 4. С. 48–59.
 3. Drozhdov V.V. Osobennosti mnogoletney dinamiki ekosistemy Azovskogo morya pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov [Features of long-term dynamics of an ecosystem of Sea of Azov under the influence of climatic and anthropogenous factors]. *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University], 2010, no. 15, pp. 155–176. (In Russian).
 4. Bufetova M.V. Radioaktivnoe zagryaznenie Azovskogo morya dolgozhivushchimi radionuklidami ^{90}Sr i ^{137}Cs : dis. ... kand. geogr. nauk [Radioactive pollution of the Azov Sea with long-lived radionuclides ^{90}Sr and ^{137}Cs . Candidate's (Geography) Thesis]. Murmansk, 2002, 148 p. (In Russian).
 5. Kasatkina N.E. Adsorbtsiya radionuklidov tseziya na donnykh otlozheniyakh i otsenka radioekologicheskoy situatsii v basseynakh Barentseva i Azovskogo morey : dis. ... kand. khim. nauk [Adsorption of caesium radionuclides on the bottom sediments and assessment of radioecological state of the Barents and Azov Sea Basins. Candidate's (Chemistry) Thesis]. Ivanovo, 2008, 139 p. (In Russian).
 6. Bayurov L.I. Kurs lektsiy po sel'skokhozyaystvennoy radiologii : uchebnoe posobie [Course of lectures on agricultural radiology. Study guide]. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet [Kuban State Agrarian University] Publ., 2009, 112 p. (In Russian).
 7. Zakharikhina L.V., Litvinenko Yu.S. Osobennosti geokhimii donnykh otlozheniy rechnoy seti poluostrova Kamchatka [Geochemical features of the bottom sediments in the river network of the Kamchatka Peninsula]. *Vestnik KRAUNTs. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center". Earth Sciences], 2018, no. 4 (40), pp. 23–37. doi: 10.31431/1816-5524-2018-4-40-23-37. (In Russian).
 8. Matishov G.G., Usyagina I.S., Pol'shin V.V. Long-term dynamics of Sea of Azov contamination with the ^{137}Cs isotope (1966–2013). *Doklady Earth Sciences*, 2015, vol. 460, no. 2, pp. 198–202. doi: 10.1134/S1028334X15020221.
 9. Kim D., Gerashchenko L.A. Radiatsionnaya ekologiya : uchebnoe posobie [Radiation ecology. Study guide]. Bratsk: Bratskiy gosudarstvennyy universitet [Bratsk State University] Publ., 2010, 213 p.
 10. Bekman I.N. Radioekologiya i ekologicheskaya radiokhimiya : uchebnyk dlya vuzov [Environmental radiochemistry and radioecology. Textbook for higher education institutions]. Moscow: Yurayt [Urait Publishing House], 2019, 497 p. (In Russian).
 11. GOST 17.1.5.01-80 Okhrana prirody. Gidrosfera. Obshchie trebovaniya k otboru prob donnykh otlozheniy [Environmental problems of the Black and Azov Seas: natural scientific and social considerations]. Taganrog, 2014, 96 p. (In Russian).

REFERENCES

1. *Ekologicheskiy atlas. Chernoe i Azovskoe morya* [Environmental atlas. Black and Azov Seas]. A.I. Isachenko, E.A. Smirnova. (Eds.). Moscow: Fond "Natsional'noe intellektual'noe razvitiye" [Foundation "National Intellectual Development"] Publ., 2019, 464 p. (In Russian).
2. Belenko T.A. *Ekologicheskie problemy Chernogo i Azovskogo morey — estestvennonauchnye i sotsial'nye*

- vodnykh ob'ektov dlya analiza na zagryaznennost' [State Standard 17.1.5.01-08 Nature protection. Hydrosphere. General requirements for sampling of bottom sediments of water objects for their pollution analysis]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200012787> (accessed 05.06.2020). (In Russian).
12. Metodicheskie rekomendatsii po prigotovleniyu schetnykh obraztsov dlya spektrometricheskikh kompleksov s programmnyim obespecheniem "Progress" [Methodological recommendations on preparation of subsamples for the spectrometric units with "Progress" software]. S.Yu. Antropov, A.P. Ermilov, N.A. Komarov, S.A. Ermilov, I.I. Krokhin. (Eds.). Moscow: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut fiziko-tekhnicheskikh i radiotekhnicheskikh izmereniy [All-Russian Scientific Research Institute for Physical-Engineering and Radiotechnical Metrology] Publ., Nauchno-tekhnicheskii tsentr Amplituda [Science and Technology Center Amplitude] Publ., 2008, 17 p. (In Russian).
 13. GOST 32164-2013 Produkty pishchevye. Metod otbora prob dlya opredeleniya strontsiya Sr-90 i tseziya Cs-137 [State Standard 32164-2013 Foodstuffs. Sampling methods for strontium Sr-90 and cesium Cs-137 determination]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200105388> (accessed 05.06.2020).
 14. Metodicheskie rekomendatsii. Ispol'zovanie komp'yuterizovannykh gamma-, beta-spektrometricheskikh kompleksov s programmnyim obespecheniem "Progress" dlya ispytaniy prob prodovol'stviya na sootvetstvie trebovaniyam kriteriev radiatsionnoy bezopasnosti [Methodological recommendations. Application of computer-assisted gamma- and beta-spectrometric units with "Progress" software for testing food samples for meeting the radiation safety standards]. S.Yu. Antropov, A.P. Ermilov, S.A. Ermilov. (Eds.). Moscow: Nauchno-tekhnicheskii tsentr Amplituda [Science and Technology Center Amplitude] Publ., 2009, 29 p. (In Russian).
 15. FR 1.40.2017.25774 Metodika izmereniya aktivnosti radionuklidov s ispol'zovaniem stsintillyatsionnogo gamma-spektrometra s programmnyim obespecheniem "Progress" [Methodology for measurement of the activity of radionuclides using a scintillation gamma-spectrometer with "Progress" software]. Moscow: Nauchno-tekhnicheskii tsentr Amplituda [Science and Technology Center Amplitude] Publ., 2016, 38 p. (In Russian).
 16. SanPiN 2.3.2.1078-01 Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevykh produktov. Postanovlenie No. 36 ot 14.11.2001 g. Data vvedeniya: 01.07.2002 g. [Sanitary Rules and Norms 2.3.2.1078-01 Hygienic requirements for safety and nutrition value of foodstuff. Resolution No. 36, dated 14.11.2001. Date of coming into effect: 01.01.2002]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901806306> (accessed 03.07.2019). (In Russian).
 17. TR TS 021/2011 Tekhnicheskiiy reglament Tamozhennogo soyuza ot 9 dekabrya 2011 g. No. 880 "O bezopasnosti pishchevoy produktsii" [Technical Regulation of the Customs Union 021/2011 dated December 9, 2011 No. 880 "On safety of food products"]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902320560> (accessed 05.06.2020).
 18. Fedorov Yu.A., Kuznetsov A.N., Davydov M.G., Trofimov M.E., Lenets E.N. Tseziy-137 v vode i donnykh otlozheniyakh (po rezul'tatam ekspeditsii "Azovskoe more — 2006") [Caesium-137 in water and bottom sediments (based on the results of the expedition "Azov Sea — 2006")]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennyye nauki* [University News. North-Caucasian Region. Natural Sciences Series], 2007, special issue, pp. 26–31. (In Russian).
 19. Korpakova I.G., Klenkin A.A., Konev Yu.V., Eletskiy B.D., Katalevskiy N.I., Pavlenko L.F. Novyy podkhod k otsenke zagryaznennosti donnykh otlozheniy Azovskogo morya [A new approach to assessing the pollution of the Azov Sea bottom sediments]. *Ekologicheskiiy vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva* [Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation], 2005, no. 2, pp. 45–53. (In Russian).
 20. Matishov D.G., Matishov G.G. Radiatsionnaya ekologicheskaya okeanologiya [Radiation environmental oceanology]. Apatity: Kol'skiy nauchnyy tsentr RAN [Kola Science Centre of the RAS] Publ., 2001, pp. 183–188. (In Russian).
 21. Usyagina I.S., Matishov G.G., Kasatkina N.E., Pol'shin V.V. Radioaktivnoe zagryaznenie Azovskogo morya (1966–2015 gg.) [Radioactive pollution of the Azov Sea (1966–2015)]. In: *Okruzhayushchaya sreda i chelovek. Sovremennyye problemy genetiki, selektsii i biotekhnologii: materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii i molodezhnoy nauchnoy konferentsii pamyati chlena-korrespondenta RAN D.G. Matishova (g. Rostov-na-Donu, 5–8 sentyabrya 2016 g.)* [Environment and a human being. Current problems of genetics, selection, and biotechnologies. Proceedings of the International Scientific Conference and Youth Scientific Conference in memory of RAS Corresponding Member D.G. Matishov (Rostov-on-Don, 5–8 September, 2016)]. Rostov-on-Don: Yuzhnyy nauchnyy tsentr RAN [Southern Scientific Center of the RAS] Publ., 2016, pp. 246–249. (In Russian).
 22. Alimova G.S., Utkina I.N. Soderzhanie ¹³⁷Cs i ⁴⁰K v donnykh otlozheniyakh i rybakh r. Irtysh i r. Tobol [Contents ¹³⁷Cs and ⁴⁰K in bottom sediments and in fishes of R. Irtysh and R. Tobol]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2016, no. 9, pp. 101–104. (In Russian).

23. Vasyukevich T.A., Nitievskaya L.S. Soderzhanie ^{137}Cs v massovykh rybakh Baltiyskogo morya, Vislinskogo i Kurshskogo zalivov v 1996–2002 i 2015–2016 gody [^{137}Cs content in mass abundant fishes of the Baltic Sea, Vistula and Curonian Lagoons]. *Trudy AtlantNIRO [AtlantNIRO Proceedings]*, 2018, vol. 2, no. 1 (5), pp. 22–28. (In Russian).
24. Mkhitar'yan I.D. Mnogoletniy monitoring sodержaniya radiotseziya v ekosisteme severo-vostochnoy chasti Chernogo morya [Multi-year monitoring of the radiocesium content in the North-Eastern Black Sea ecosystem]. In: *Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost' — 2017 : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Sevastopol', 11–15 sentyabrya 2017 g.) [Ecological, industrial and energy security — 2017. Proceedings of the International Research and Practice Conference (Sevastopol, 11–15 September 2017)]*. Sevastopol: Sevastopol'skiy gosudarstvennyy universitet [Sevastopol State University] Publ., 2017, pp. 934–937. (In Russian).
25. Korablina I.V., Barabashin T.O., Katalevsky N.I., Evseeva A.I. Mysh'yak v promyslovykh rybakh presnovodnykh vodoemov Severo-Kavkazskogo regiona i srede ikh obitaniya [Arsenic in commercial fish of freshwater reservoirs of the North Caucasus Region and their habitat]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya [Aquatic Bioresources & Environment]*, 2019, vol. 2, no. 4, pp. 48–59. (In Russian).

Поступила 10.06.2020

Принята к печати 04.09.2020