

Научная статья
УДК 504.054+546.027 (268.45+470.118)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.007

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА В АВГУСТЕ И СЕНТЯБРЕ 2023 ГОДА

Наталья Сергеевна Иванова, Геннадий Васильевич Ильин

*Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
ivanova_ns@mmbi.info, ilyin@mmbi.info*

Аннотация

Представлены результаты исследований современной активности техногенных изотопов в прибрежной зоне острова Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа. Пробы морской воды, водорослей, донных осадков, почвы и растительного покрова были отобраны в ходе экспедиции, выполненной совместно с Северным флотом и Русским географическим обществом в августе и сентябре 2023 г. Отмечено, что в морской среде и литоральных макрофитах содержание техногенного ^{137}Cs снижается по сравнению с показателями 2000–2010 гг. В наземной экосистеме распределение ^{137}Cs мозаично, наибольшая удельная активность обнаружена в почвах (до 71.4 Бк/кг). В единичных пробах отмечено наличие короткоживущего изотопа ^{134}Cs , который является индикатором относительно недавних атмосферных выпадений в Арктике.

Ключевые слова:

Земля Франца-Иосифа, радиоактивность, морская среда, почвы, наземная растительность

Original article

RADIOECOLOGICAL RESEARCH IN THE REGION OF FRANZ JOSEF LAND ARCHIPELAGO, IN AUGUST AND SEPTEMBER 2023

Natalia S. Ivanova, Gennady V. Ilyin

*Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
ivanova_ns@mmbi.info, ilyin@mmbi.info*

Abstract

The results of a study of the current activity of technogenic isotopes in the coastal zone of the Alexandra Land island of the Franz Josef Land archipelago are presented. Samples of sea water, algae, bottom sediments, soil and vegetation were taken during an expedition carried out under the auspices of the Northern Fleet and the Russian Geographical Society in August and September 2023. In the marine environment and littoral macrophytes, the content of technogenic ^{137}Cs is gradually decreasing in comparison with the indicators of the previous period 2000–2010. In the terrestrial ecosystem, the distribution ^{137}Cs is mosaic; the highest specific activity is found in soils (up to 71.4 Bq/kg). In single samples, the presence of the short-lived isotope ^{134}Cs was noted, which is an indicator of relatively recent atmospheric fallout in the Arctic.

Keywords:

Franz Josef Land, radioactivity, marine environment, soils, ground vegetation

Введение

Окраинные арктические архипелаги (в частности архипелаг Земля Франца-Иосифа) не вовлечены до настоящего времени в хозяйственную деятельность из-за своей труднодоступности и суровых климатических условий. Серьезным препятствием для навигации и освоения островов служат дрейфующие льды и айсберги. Граница ледовых полей сдвигается к северной оконечности архипелага до 83° с. ш. лишь в период максимального таяния в сентябре или раньше в наиболее теплые годы. Относительно свободное плавание у архипелага возможно не более чем в течение 40 календарных суток с учетом дней неблагоприятной метеорологической обстановки – сильных туманов и ветров.

На архипелаге широко развито оледенение. Лед и фирн покрывают 80 % площадей островной суши. В период оттаивания тундра интенсивно заболачивается с образованием грязевых потоков и склоновых оползней в силу расчлененности рельефа (Куликов, 2004; Макарьева и др., 2006).

В данных условиях территория островов практически необитаема. Техногенные нарушения экосистемы архипелага происходят лишь вблизи немногочисленных действующих и

законсервированных полярных станций. Эти нарушения ассоциированы со свалками бытового и производственного мусора, брошенными складами нефтепродуктов.

Техногенное загрязнение архипелага радиоактивными элементами началось в период испытания ядерного оружия – в 1950–1960-е годы. Однако с середины 1960-х гг. фон искусственных радионуклидов в морской среде и на суше формируется естественными процессами трансграничного переноса радионуклидов и обмена в системе островная суша–море за счет тающих многолетних ледовых шапок. Морской трансграничный перенос обеспечивается потоками теплых атлантических вод, которые поступают через пролив Фрама и из Баренцева моря. Воды Атлантики переносят загрязнения от североευропейских энергетических и радиохимических предприятий. В баренцевоморских водах последствия и динамика радионуклидного загрязнения активно изучаются и хорошо освещены в научных публикациях (Матишов, Матишов, 2001; Естественное ..., 2009; Распределение ..., 2017; Тенденции ..., 2018). Однако в районе архипелага, из-за его труднодоступности, различные аспекты загрязнения его экосистем техногенными радионуклидами исследуются эпизодически и остаются малоизученными (Усягина и др., 2014). В то же время архипелаг как часть экосистемы играет определенную роль в формировании закономерностей циркуляции радионуклидов в Баренцевом море. В настоящее время переоценка хозяйственного и геополитического потенциала Баренцева моря, в том числе района архипелага Земля Франца-Иосифа, определяет возросший в настоящее время интерес к изучению радиоэкологического состояния этой высокоширотной области.

В соответствии с вышеизложенным, цель исследований – получение на примере Земли Франца-Иосифа новых данных о характеристиках радиоэкологического фона в прибрежных экосистемах высокоширотных архипелагов и влиянии климатических изменений на его флуктуации.

Материал и методы

Исследования проведены в наземной и морской части острова Земля Александры (рис. 1). Экспедиция на архипелаг была проведена совместно с Северным флотом и Мурманским областным отделением Русского географического общества в августе и сентябре 2023 г.



Рис. 1. Карта-схема отбора проб на литоральной отмели и в береговой зоне о. Земля Александры в августе и сентябре 2023 г.

Fig. 1. Sampling stations on the intertidal shallows and in the coastal zone, August and September 2023

В различных районах острова собраны и изучены образцы почвы, растительного покрова (мхов и лишайников), донных осадков, водорослей и морской воды. Отбор проб воды и донного осадка выполнен на литоральных отмелях в нескольких бухтах острова. Проба воды объемом 100 л подвергалась первичной обработке сразу после отбора методом концентрирования радионуклидов на целлюлозном неорганическом сорбенте «анфеж» и получения счетного образца. Пробы донного осадка (поверхностный слой 0–5 см) и макрофитов рода *Saccharina* взяты в период отлива и осушки литорали. Образцы почвы, мхов и лишайников отобраны вблизи береговой черты на пригодных участках с помощью металлического почвоотборника.

В пробах определена активность ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th . Радиометрический анализ проб выполнен в лаборатории Мурманского морского биологического института РАН. Измерения активности ^{137}Cs в счетных образцах сорбента и удельной активности γ -излучающих радионуклидов в пробах донного осадка выполнены на спектрометрах гамма-излучения InSpector-2000, гамма- и рентгеновского излучения b13237 («Canberra», США). Спектры обрабатывались с помощью программного обеспечения Genie-2000. Данные по удельной активности ^{137}Cs в донных отложениях приведены в расчете на 1 кг массы сухого осадка.

Работы выполнены в бухтах Северная, Отмелая и Островная (рис. 1), где на 10 точках были собраны пробы для радиометрического анализа состояния островных прибрежных экосистем (таблица).

**Характеристика материала, отобранного для радиометрических исследований
в августе и сентябре 2023 г. на о. Земля Александры
Volume of material selected for radiometric studies, August and September 2023**

Район работ	Координаты		Объект исследования
	с. ш.	в. д.	
Бухта Отмелая	80°50.1732'	47°14.8062'	Вода (анфеж)
	80°50.2380'	47°18.2304'	Донный осадок (0–5 см)
	80°50.4012'	47°20.9160'	Водросли
Бухта мыса Двойного	80°44.1018'	47°34.4394'	Вода (анфеж)
Бухта Северная	80°45.9042'	47°33.3294'	Донный осадок (0–5 см)
	80°46.0854'	47°36.4602'	Донный осадок (0–5 см)
	80°45.9042'	47°33.3294'	Водросли
	80°46.3698'	47°46.5192'	Водросли
	80°46.4742'	47°49.7304'	Водросли
	80°46.0854'	47°36.4602'	Почва
	80°46.3698'	47°46.5192'	Почва
	80°46.3698'	47°46.5192'	Почва
	80°46.3698'	47°46.5192'	Мхи, лишайники
Бухта Островная	80°44.4144'	47°30.5100'	Почва
	80°44.4144'	47°30.5100'	Мхи, лишайники

Результаты и обсуждение

Количественные характеристики техногенных радионуклидов в прибрежной экосистеме исследуемой территории приведены на рисунках 2 и 3.

Объемная активность ^{137}Cs в омывающих остров водах в среднем составляет 0.7 Бк/м³. Различия активности в воде бухты Отмелая (0.8±0.3 Бк/м³) и у мыса Двойной (0.5±0.2 Бк/м³) недостоверны (рис. 2). При сравнении полученных показателей с данными предшествующих исследований архипелага, выполненными ММБИ в 2000–2010 гг., следует констатировать более чем двукратное снижение уровня техногенной радиоактивности к 2023 г. Содержание радиоактивного цезия в предшествующий период в водах межостровной акватории, в частности в проливе Британский канал, составляло 1.9 Бк/м³ (Усягина и др., 2014). В среднем современная объемная активность ^{137}Cs в водах, омывающих архипелаг Земля Франца-Иосифа, оказывается ниже средней его активности в водах

бассейна Баренцева моря (1.6 ± 0.3 Бк/м³) (Радиоэкологическое ..., 2020). Такое различие определяется в первую очередь влиянием арктической водной массы, которая образуется в результате таяния льдов в летний период. Например, в Баренцевом море объемная активность ¹³⁷Cs у кромки дрейфующих льдов вблизи архипелага составляла в конце зимы 1.2 ± 0.4 Бк/м³ (Распределение ..., 2017).



Рис. 2. Распределение техногенных радионуклидов в морской среде побережья о. Земля Александры в августе и сентябре 2023 г.

Fig. 2. Distribution of man-made radionuclides in the marine environment of the coastal region Alexandra Land, August and September 2023



Рис. 3. Распределение техногенных радионуклидов в компонентах островного ландшафта Земли Александры в августе и сентябре 2023 г.

Fig. 3. Distribution of technogenic radionuclides in the components of the island landscape of Alexandra Land, August and September 2023

В донных отложениях во внутренних проливах, омывающих Землю Александры, в 2023 г. удельная активность ^{137}Cs варьировала от 1.7 ± 0.3 до 3 ± 0.8 Бк/кг. На литоральной отмели внешнего шельфа (в бухте Отмелая), омываемой холодными арктическими водами, активность ^{137}Cs составила 0.2 ± 0.1 Бк/кг (рис. 3). Вариации концентраций радиоцезия даже в близко расположенных точках отбора проб могут быть обусловлены несколькими причинами. Главные из них связаны с локальными различиями вещественного состава донных отложений и наличием водотоков при сезонном таянии ледово-снежного покрова островной суши. Пробы имели отличия в гранулометрическом составе. Так поверхностный слой донных отложений прибрежной зоны Земли Александры представлен плохосортированным осадочным материалом. В бухте Отмелая донные осадки сложены грубообломочным терригенным материалом с минимальным содержанием пелитовой фракции. В бухте Северная отложения в точках отбора последовательно представлены алевритово-песчаным материалом с единичными включениями гравия и гравийно-песчаными с включениями обломков раковин моллюсков. В осадках этого литотипа отмечена наибольшая концентрация ^{137}Cs .

Ранее в осадках межостровных проливов архипелага фиксировалась удельная активность от 2 до 4.9 Бк/кг сухого осадка (Усягина и др., 2014). Таким образом можно констатировать, что поступление радиоактивных элементов в донные осадки островных шхер поддерживается на прежнем уровне, по-видимому, за счет циркулирующих здесь атлантических вод и невысокой скорости осадконакопления. С северной, внешней стороны архипелага, под влиянием малозагрязненных арктических вод концентрация этого радиоизотопа заметно снижена. В литоральных отложениях бухты Отмелая обнаружен изотоп ^{134}Cs (0.12 ± 0.06 Бк/кг) – короткоживущий радионуклид с периодом полураспада 2.06 года. Данный изотоп является показателем относительно недавних атмосферных радиоактивных выпадений. Исходя из того, что ^{134}Cs был отмечен также в растительном покрове острова, его присутствие в донных отложениях является результатом флювиального смыва осадочного материала с территории Земли Александры.

Во всех образцах ламинарии, отобранных на разных сторонах острова – в бухтах Отмелая и Северная (таблица), удельная активность техногенных изотопов была ниже минимально детектируемой активности.

До начала 1990-х годов радиоактивное загрязнение островных ландшафтов архипелага Земля Франца-Иосифа практически не исследовалось. Первые экспедиционные радиоэкологические исследования были проведены в 1991–1994 гг. Удельная активность ^{137}Cs в почвогрунтах южных островов архипелага варьировала в диапазоне от 25 до 547 Бк/кг. Максимальное загрязнение почв было отмечено на о. Мейбелл (Радионуклиды ..., 1994). По данным исследований 2023 г., удельная активность ^{137}Cs в грунтах обследованной территории составила от 0.9 до 71.4 Бк/кг. Максимальное значение отмечено в почвенном покрове в районе бухты Островная. В указанной точке наблюдений почвенный покров по сравнению с другими участками опробывания наиболее развит. Почвы на о. Земля Александры, как и на всем архипелаге Земля Франца-Иосифа, очень маломощны. Исследуемая почва состояла из мелкозема, основой которого является песок, практически не содержащий гумуса. Данный факт может быть одной из причин преимущественно невысоких уровней накопления радиоактивных элементов в слое почвы на острове и на архипелаге в целом. Однако при сравнении данных очевидно значительное снижение минимальной и максимальной удельной активности ^{137}Cs в почвенном покрове архипелага.

Растительный покров о. Земля Александры в пределах изучаемого района представлен мхами и кустистыми лишайниками. Распространение растительного покрова фрагментарно. Радиометрический анализ проб показал разброс накопления ^{137}Cs этими растениями от 7.4 ± 0.8 Бк/кг у мыса Двойного до 25.8 ± 2.2 Бк/кг в районе бухты Северная, что может определяться локальными условиями произрастания и состояния растений. В одной из проб был обнаружен радиоизотоп ^{134}Cs – 1.7 ± 0.9 Бк/кг, что служит показателем атмосферных радиоактивных выпадений в недавнее время.

По данным наблюдений 1991 г., в лишайниках южных островов Земли Франца-Иосифа отмечены ^{137}Cs и ^{134}Cs , однако в более высокой концентрации. Удельная активность ^{137}Cs составляла от 31 до 375 Бк/кг, а ^{134}Cs – от 0.5 до 21 Бк/кг. Кроме этого, во мхах и лишайниках обнаружены ^{152}Eu и ^{60}Co

(Радионуклиды ..., 1994). В более поздних наблюдениях начала 2000-х гг. ^{134}Cs , ^{152}Eu и ^{60}Co в растениях архипелага не обнаруживались (Усягина и др., 2014).

Выводы

Выполненные в августе и сентябре 2023 г. исследования на о. Земля Александры и полученные в результате этого новые материалы дали возможность актуализировать представления о современном радиоэкологическом фоне в районе архипелага Земля Франца-Иосифа. Сравнительный анализ вновь полученных данных и материалов предшествующих исследований позволили показать существующие тенденции изменений радиоэкологического фона на архипелаге. На примере эволюции концентраций ^{137}Cs можно констатировать устойчивое снижение накопленных концентраций техногенных радионуклидов в водной среде, донных отложениях, почвах, морской и наземной биоте архипелага. Современный уровень техногенной радиоактивности компонентов морской среды следует квалифицировать как невысокий, ниже средних величин для Баренцева моря. Уровень загрязнения почвы и наземной растительности фрагментирован и характеризуется относительно широким диапазоном накопления радионуклидов. В то же время очевидно, что высокоширотная, арктическая область аккумулирует атмосферные радиоактивные выбросы на ледяной покров и поверхность архипелагов. Свидетельством этому являются эпизоды обнаружения в почве и наземной растительности о. Земля Александры радионуклида ^{134}Cs .

Авторы выражают благодарность участникам совместной экспедиции Северного флота и Мурманского областного отделения Российского географического общества С. А. Гончарову, С. Г. Зинченко, И. С. Мариненко и Е. М. Гончаровой, которые отобрали пробы, провели первичную обработку и доставили для исследований в ММБИ РАН.

Работа выполнена по теме «Структурно-динамические трансформации пелагических экосистем морских арктических бассейнов в условиях техногенных и естественных изменений среды» (№ государственной регистрации 124013000709-9) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. *Естественное* снижение уровня искусственных радионуклидов в Баренцевом море / Г. Г. Матишов, Д. Г. Матишов, Д. Солатие, Н. Е. Касаткина, А. Леппанен // Докл. РАН. 2009. Т. 427, № 4. С. 539–544.
2. Куликов И. В. Предварительная оценка состояния природной среды архипелага Земля Франца-Иосифа по результатам авиадесантных работ при геологической съемке масштаба 1:1000000 в августе–сентябре 2000 г. // Земля Франца-Иосифа. Архангельск: ФГУ «ГФИ по Архангельской обл.», 2004. С. 77–79.
3. Макарьева Е. М., Погорельский А. И., Сахарова К. А. Результаты геоэкологических исследований Земли Франца-Иосифа и прилегающего шельфа // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 6. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. С. 120–135.
4. Матишов Д. Г., Матишов Г. Г. Радиационная экологическая океанология. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001. 417 с.
5. Радионуклиды в экосистеме региона Баренцева и Карского морей / Г. Г. Матишов, Д. Г. Матишов, Е. Щипа, К. Риссанен. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. 235 с.
6. Радиоэкологическое состояние среды морских экосистем Арктики в условиях современного природопользования / Г. В. Ильин, И. С. Усягина, Н. Е. Касаткина, Д. А. Валуйская // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2020. Т. 4, № 11. Сер. Океанология. Вып. 7. С. 260–275. DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.4
7. Распределение радионуклидов в ледовой прикромочной зоне Баренцева моря (по материалам экспедиции 2016 года) / Г. В. Ильин, И. С. Усягина, Н. Е. Касаткина, Д. А. Валуйская, А. А. Дерябин // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2017. Т. 2, № 8. Сер. Океанология. Вып. 4. С. 101–111.

8. *Тенденции перераспределения техногенной радиоактивности в Баренцевом море в конце XX–начале XXI веков* / И. С. Усягина, Н. Е. Касаткина, Г. В. Ильин, Д. А. Валуysкая // *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность* – 2018: Сб. статей по матер. Междунар. науч.-практ. конф. (Севастополь, 24–27 сентября 2018 г.). Севастополь: Изд-во Сев. гос. ун-та, 2018. С. 1191–1196.
9. *Усягина И. С., Касаткина Н. Е., Ильин Г. В. Техногенные радионуклиды в морской среде и элементах наземной экосистемы архипелага Земля Франца-Иосифа* // *Тр. Кольского науч. центра РАН*. 2014. Т. 4, № 23. Сер. Океанология. Вып. 2. С. 102–112.

References

1. Matishov G. G., Matishov D. G., Kasatkina N. E., Solatie D., Leppanen A. Estestvennoe snizhenie urovnya isskustvennykh radionuklidov v Barentsevom more [Natural decrease of the intensity level of artificial radioactive isotopes in the Barents Sea]. *Doklady RAN* [Doklady Earth Sciences], 2009, Vol. 427, No. 4, pp. 539–544. (In Russ.).
2. Kulikov I. V. Predvaritel'naya otsenka sostoyaniya prirodnoy sredy arkhipelaga Zemlya Frantsa-Iosifa po rezul'tatam aviadesantnykh rabot pri geologicheskoy s'emke masshtaba 1:1000000 v avguste–sentyabre 2000 g. [Preliminary assessment of the state of the natural environment of the Franz Josef Land archipelago based on the results of airborne operations during a geological survey on a scale of 1:1000000 in August–September 2000]. *Zemlya Frantsa-Iosifa* [Franz Josef Land]. Arkhangelsk, Federal State Institution «TFI for the Arkhangelsk Region», 2004, pp. 77–79 (In Russ.).
3. Makar'eva E. M., Pogorel'sky A. I., Sakharova K. A. Rezul'taty geoeologicheskikh issledovaniy Zemlya Frantsa-Iosifa i prilegayushchego shel'fa [The results of geoeological investigation of Franz Josef Land archipelago and surrounding shelf]. *Kompleksnye issledovaniya prirody Shpitsbergena, vypusk 6* [Complex investigations of Spitsbergen nature, iss. 6]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2006, pp. 120–135 (In Russ.).
4. Matishov D. G., Matishov G. G. *Radiatsionnaya ekologicheskaya okeanologiya* [Radiational ecological oceanology]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2001, 417 p. (In Russ.).
5. Matishov G. G., Matishov D. G., Shchiba E., Rissanen K. *Radionuklidy v ekosisteme regiona Barentseva i Karskogo morey* [Radionuclides in the Ecosystem of the Barents and Kara Seas Region]. Apatity, Publ. KSC RAS, 1994, 235 p. (In Russ.).
6. Il'in G. V., Usyagina I. S., Kasatkina N. E., Valuyskaya D. A. Radioekologicheskoe sostoyanie sredy morskikh ekosistem Arktiki v usloviyakh sovremennogo prirodoopol'zovaniya [Radioecological status of arctic marine ecosystems and current ocean and coastal management]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Okeanologiya, vypusk 7* [Transactions Kola Science Centre of the RAS. Oceanology, series 7], 2020, Vol. 4, No. 11, pp. 260–275 (In Russ.).
7. Il'in G. V., Usyagina I. S., Kasatkina N. E., Valuyskaya D. A., Deryabin A. A. Raspredelenie radionuklidov v ledovoy prikrumochnoy zone Barentseva morya (po materialam ekspeditsii 2016 goda) [Distribution of radionuclides in the marginal ice zone of the Barents Sea (results of a cruise in 2016)]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Okeanologiya, vypusk 4* [Transactions Kola Science Centre of the RAS. Oceanology, series 4], 2017, Vol. 2, No. 8, pp. 101–111 (In Russ.).
8. Usyagina I. S., Kasatkina N. E., Il'in G. V., Valuyskaya D. A. Tendentsii pereraspredeleniya tekhnogennoy radioaktivnosti v Barentsevom more v kontse XX–nachale XXI vekov [Trends of technogenic radioactivity redistribution in the Barents Sea in the end of the XX–beginning of the XXI century]. *Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost' – 2018: Sbornik statey po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Environmental, industrial and energy safety – 2018: Collection of articles based on materials from the international scientific and practical conference]. Sevastopol, Publ. Sevastopol State University, 2018, pp. 1191–1196 (In Russ.).
9. Usyagina I. S., Kasatkina N. E., Il'in G. V. Tekhnogennyye radionuklidy v morskoy srede i elementakh nazemnoy ekosistemy arkhipelaga Zemlya Frantsa-Iosifa [Artificial radionuclides in the marine environment and elements of terrestrial ecosystem of the Franz Josef Land archipelago]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Okeanologiya, vypusk 2* [Transactions Kola Science Centre of the RAS. Oceanology, series 2], 2014, Vol. 4, No. 23, pp. 102–112 (In Russ.).

Информация об авторах

Наталья Сергеевна Иванова – стажер-исследователь

Геннадий Васильевич Ильин – кандидат географических наук, главный научный сотрудник,
<https://orcid.org/0000-0002-5707-9114>

Information about the authors

Natalia S. Ivanova – Trainee Researcher

Gennady V. Ilyin – PhD (Geography), Chief Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-5707-9114>

Статья поступила в редакцию 26.04.2024; одобрена после рецензирования 14.05.2024; принята к публикации 16.05.2024.
The article was submitted 26.04.2024; approved after reviewing 14.05.2024; accepted for publication 16.05.2024.