УДК 504.054(470.111)

**РАДИАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГИДРОБИОНТОВ УСЛОВНО ЧИСТОЙ
ТЕРРИТОРИИ НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА****Пучков А.В., Яковлев Е.Ю., Дружинин С.В.***Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаврова РАН, Архангельск, e-mail: vp-andrew@list.ru*

Авторами проведены исследования отдельных проб гидробионтов чистой территории Ненецкого автономного округа (НАО) на содержание в них естественных и искусственных радионуклидов. Условно чистой территорией определены бассейны рек Несь, Вижас, Ома, Снопа, Пеша и территории одноименных населенных пунктов. На данном этапе исследований были отобраны пробы гидробионтов с рек Несь, Вижас, Ома, Пеша и озера, располагающегося между с. Несь и д. Вижас. Для реализации намеченной цели были применены методы альфа-, бета-радиометрии, полупроводниковой гамма-спектрометрии и радиохимической пробоподготовки на определение радионуклида стронций-90. Выявлено наличие искусственных радионуклидов цезий-137 и стронций-90 в гидробионтах, отобранных с реки Несь. В соответствии с действующими в Российской Федерации гигиеническими требованиями полученные значения удельных активностей радионуклидов цезий-137 и стронций-90 не превышают нормируемых значений в рыбе, используемой для пищевых целей. Единственным предположением, позволяющим объяснить факт наличия искусственных радионуклидов в гидробионтах реки Несь, является возможный радиоактивный след, возникший по результатам ядерных испытаний на архипелаге Новая Земля. Для подтверждения наличия искусственных радионуклидов в гидробионтах реки Несь, а также выявления других возможных причин данного факта планируется повторный отбор проб гидробионтов с данной реки с разделением по видам, возрасту, а также отдельным системам организма, а также отбор проб других компонентов природной среды бассейна реки (донные отложения, водная среда, растительность). Кроме этого, отмечен незначительный повышенный уровень радионуклида калий-40 в гидробионтах, отобранных в р. Вижас. В целом содержание радионуклида калий-40 варьируется в пределах характерных границ для гидробионтов других регионов Земли.

Ключевые слова: гидробионты, радионуклид, стронций, цезий, калий, кривая распада**RADIATION PARAMETERS OF HYDROBIONTS OF THE BACKGROUND
TERRITORY OF THE NENETS AUTONOMOUS OKRUG****Puchkov A.V., Yakovlev E.Yu., Druzhinin S.V.***Federal Centre for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov RAS,
Archangelsk, e-mail: vp-andrew@list.ru*

We studied hydrobionts at background territories of Nenets autonomous okrug to determine natural and artificial radionuclides in them. We consider that background territories of the NAO are river basins named Nes', Vizhas, Oma, Snopa, Peosha and villages with same names. At this stage of the research, we took samples of hydrobionts from the Nes', Vizhas, Oma, Peosha rivers and a lake located between Nes' and Vizhas. The methods of alpha, beta radiometry, semiconductor gamma spectrometry and radiochemical sample preparation for the determination of radionuclide strontium-90 were used to achieve our goal. The presence of artificial radionuclides of cesium-137 and strontium-90 in hydrobionts taken from the Nes' river was determined. In accordance with the current hygiene requirements in the Russian Federation, the obtained values of the cesium-137 and strontium-90 radionuclides activities do not exceed the normalized values in fish used for food purposes. The main reason for the revealed fact of the presence of artificial radionuclides in the hydrobionts of the Nes' river is a possible radioactive track that arose as a result of nuclear tests on the Novaya Zemlya archipelago. To confirm the presence of artificial radionuclides in the hydrobionts of the Nes' river, as well as to identify other possible causes of this fact, we planned to re-take samples of hydrobionts from this river with separation by species, age and body systems, as well as take samples of other components of the natural environment of the river basin (bottom sediments, aquatic environment, vegetation). In addition, a slight increased level of potassium-40 radionuclide was noted in hydrobionts taken in the Vizhas river. In general, the content of potassium-40 radionuclide varies within the characteristic boundaries for hydrobionts of other regions of the Earth.

Keywords: hydrobionts, radionuclide, strontium, cesium, potassium, decay curve

Ненецкий автономный округ (НАО) – особый регион, уникальность которого заключается в природно-ресурсном богатстве, в т.ч. водными биологическими ресурсами. Практически все водоемы в НАО служат местом нагула, зимовки, нереста и миграции различных видов рыб. Ихтиофауна в реках и озерах представлена 40 видами водных биоресурсов, а в прибрежных морских водах – 64 видами, из которых 27 видов

имеют промысловое значение [1]. Рыболовство, наряду с оленеводством и охотой, является одним из основных традиционных хозяйств, а рыба – один из основных источников питания у населения НАО [2].

С учетом сложности природно-климатических условий, труднодоступности большей части территории региона, но в то же время все возрастающего уровня хозяйственной деятельности, актуальность

оценки экологических параметров водных биологических ресурсов остается на высоком уровне. При этом в условиях наличия большого количества ядерно- и радиационно-опасных объектов (в том числе объектов «ядерного наследия») как на территории (в т.ч. вокруг территории) Северо-Западного федерального округа, так и частично на территории НАО оценка радиационных параметров стоит особняком среди всех остальных параметров загрязнения компонентов окружающей среды [3].

В части ихтиофауны происходят интенсивные процессы аккумуляции рыбой радионуклидов как из водной среды, так и из донных отложений, кормовых гидробионтов, подводной растительности. В связи с этим рыба становится своеобразным биоиндикатором наличия в природных средах радионуклидов как природного, так и техногенного происхождения [4; 5].

Одними из основных техногенных загрязнителей рыбных ресурсов являются долгоживущие радионуклиды цезий-137 и стронций-90 [4]. Данные радионуклиды являются яркими представителями «осколочной активности» (имеющие наибольший выход при делении ядерного топлива на основе радионуклидов урана и плутония), наличие которых в компонентах природной среды обусловлено как современной деятельностью предприятий по обращению с радиоактивными отходами, стационарных и транспортных ядерно-энергетических установок и др., так и объектами «ядерного наследия» (испытания ядерного оружия, «мирные» ядерные взрывы и др.).

Кроме искусственных радионуклидов цезий-137 и стронций-90 гидробионты могут аккумулировать в различных системах организма радионуклиды естественного происхождения. В первую очередь, это радионуклиды радиоактивных рядов урана-238 и тория-232, а также радионуклид калий-40, содержащиеся в водной среде, донных отложениях, кормовых гидробионтах и подводной растительности и др. Их содержание в компонентах природной среды напрямую зависит от геологического строения территории, геохимического состава, климатообразующих факторов, а также антропогенного вмешательства в результате различного рода деятельности человека (например, деятельность нефтегазодобывающей отрасли) [6].

Целью исследования в данной работы было провести отбор проб гидробионтов

(рыба без разделения на виды) в западной части территории НАО, обеспечить качественную их пробоподготовку (в том числе с применением методов радиохимической подготовки) и провести измерения радиационных параметров проб гидробионтов с применением высокоточной радиометрической и спектрометрической аппаратуры.

Материалы и методы исследования

Для достижения целей изучения радиационных параметров объектов окружающей среды территорий НАО в рамках данной работы авторами было проведено изучение гидробионтов в реках Несь, Ви́жас, Ома, Пеша и одного озера б/н к югу между с. Несь и д. Ви́жас. Для этого в период с 01.08.2019 по 28.02.2020 были отобраны 12 проб указанного объекта общей массой около 23 кг. До момента проведения измерений пробы гидробионтов были законсервированы (глубокая заморозка в условиях морозильной камеры). Точки отбора проб гидробионтов указаны на рис. 1.

Подготовка проб гидробионтов проводилась в лабораторных условиях путем высушивания каждой пробы с дальнейшим озолением с применением муфельной печи при температуре не более 400 °С.

Определение радионуклида стронций-90 проводилось с применением методики радиохимического выделения его дочернего продукта распада радионуклида иттрия-90 в соответствии с [7] с дальнейшим измерением на бета-радиометре (при этом авторами принято, что в пробе радионуклиды стронций-90 и иттрий-90 находятся в состоянии радиоактивного равновесия). Подтверждение достоверности и чистоты радиохимического выделения проводилось методом построения «кривой распада» радионуклида иттрия-90.

Измерение проб гидробионтов на радиационный фактор проводилось с применением следующих средств измерений:

- полупроводникового гамма-спектрометрического комплекса ORTEC с детектором GEM 10 в низкофоновом исполнении с азотным охлаждением (для определения гамма-излучающих радионуклидов и их удельной активности);

- низкофоновый альфа-бета-радиометра РКС-01А «Абелия» (для определения суммарной удельной активности отдельно бета-излучающих и альфа-излучающих радионуклидов, а также удельной активности радионуклида стронций-90 по его дочернему радионуклиду иттрия-90).

Рис. 1. План-схема отбора гидробионтов в западной части территории НАО

Результаты исследования и их обсуждение

В результате выполненных исследований авторами выявлено наличие искусственных радионуклидов цезий-137 и стронций-90 в гидробионтах, отобранных из реки Несь. В соответствии с действующими в Российской Федерации гигиеническими требованиями полученные значения удельных активностей радионуклидов цезий-137 и стронций-90 не превышают нормируемых значений в рыбе (безусловно соответствующая критерию радиационной безопасности), используемой для пищевых целей [8]. Оценку соответствия гидробионтов, отобранных из р. Несь, критериям радиационной безопасности провели в соответствии с требованиями [9; 10]. Для этого провели расчет показателя соответствия B и неопределенности его расчета ΔB по следующим формулам:

$$B = \left(\frac{Q}{H} \right)_{Sr-90} + \left(\frac{Q}{H} \right)_{Cs-137},$$

$$\Delta B = \sqrt{\left(\frac{\Delta Q}{H} \right)_{Sr-90}^2 + \left(\frac{\Delta Q}{H} \right)_{Cs-137}^2},$$

где Q – измеренное значение удельной активности радионуклида в пробе;
 H – допустимый уровень удельной активности радионуклида в испытуемом продукте (для радионуклида стронций-90 – 100 Бк/кг, для радионуклида цезий-137 – 130 Бк/кг);
 ΔQ – абсолютная расширенная (коэффициента охвата $k = 2$) неопределенность измерения удельной активности.

В случае выполнения соответствия $(B + \Delta B) < 1$ рыба как пищевой продукт признается безусловно соответствующей критерию радиационной безопасности.

Единственным предположением, позволяющим объяснить факт наличия искусственных радионуклидов в незначительных количествах в гидробионтах реки Несь, является возможный радиоактивный след, возникший по результатам ядерных испытаний на архипелаге Новая Земля. Согласно [11] примерно 12% радиоактивных продуктов

по результатам проведенных испытаний оказались в районе мест испытаний с небольшим удалением, 10% радионуклидов попали в концентрическое циркуполярное кольцо на широте Новой Земли, а 78% в виде мелко-дисперсных продуктов дополнили глобальный фонд радионуклидов атмосферы Земли. В случае загрязнения в результате глобальных радиоактивных выпадений по результатам испытаний ядерного оружия другими странами искусственные радионуклиды были бы обнаружены также и в остальных точках отбора с соизмеримыми значениями удельных активностей. Необходимо отметить, что данное загрязнение, несмотря на небольшие значения радиационных параметров, может явиться следствием наличия другого антропогенного источника (например, захоронение радиоактивных отходов).

Результаты измерений проб гидробионтов с указанием точек отбора, веса проб, определяемых параметров и их значений приведены в табл. 1.

Подтверждение достоверности и чистоты радиохимического выделения проводилось методом построения «кривой распада» радионуклида иттрия-90, приведенной на рис. 2 (построена на основе данных табл. 2). Отчетливо видно, что уменьшение скорости счета от счетного образца в два раза происходит за период – 66 часов. При этом период полураспада иттрия-90 составляет 64,2 часа. Однозначно можно утверждать, что в счетном образце присутствует радионуклид иттрий-90 и отсутствуют другие радионуклиды, возможные к внесению при радиохимическом выделении.

Таблица 1

Точки отбора гидробионтов и их исследованные параметры

№ п/п	Точка отбора гидробионтов	Вес пробы (сырой), г	Радиационные параметры пробы, Бк/кг				
			А уд., β	А уд., α	Cs-137	Sr-90+Y-90	K-40
1	Река Пеша, точка 1	1950	93,0	менее 2,7	0,37	менее 3,4	85,0
2	Река Пеша, точка 2	2320	91,0	менее 2,5	0,22	менее 2,4	80,6
3	Река Пеша, точка 3	1560	97,0	менее 2,4	менее 0,20	менее 1,9	75,3
4	Река Ома, точка 4	1260	94,3	менее 2,3	0,25	менее 2,6	71,0
5	Река Ома, точка 5	1570	67,8	менее 2,7	0,32	менее 2,3	59,9
6	Река Ома, точка 6	1400	78,7	менее 3,6	0,50	менее 1,5	68,9
7	Река Вижас, точка 7	1430	131,4	менее 3,5	0,21	менее 1,5	125,0
8	Река Вижас, точка 8	1860	125,7	менее 2,8	менее 0,15	менее 1,9	110,1
9	Река Вижас, точка 9	1770	143,2	менее 2,6	менее 0,12	менее 1,3	138,0
10	Озеро между с. Несь и д. Вижас, точка 10	1950	94,6	менее 7,1	0,70	менее 5,1	80,0
11	Река Несь, точка 11	2100	118,3	менее 2,9	9,6	19,1	95,4
12	Река Несь, точка 12	2310	115,6	менее 2,2	11,2	15,4	85,1

Примечание. Погрешность измерений вышеприведенных параметров не превышала 40%.

Рис. 2. Кривая распада радионуклида иттрий-90 (проба гидробионтов, р. Несь)

Таблица 2
Изменение скоростей счета от счетного
образца с течением времени

№ п/п	Время, ч	Скорость счета, имп./с
1	0	1,564
2	24,25	1,212815
3	49,35	0,926566
4	72,38	0,724271
5	96,78	0,568482
6	121,18	0,451091
7	145,42	0,343881

В изученных пробах гидробионтов радионуклидов естественного происхождения найдено не было, кроме радионуклида калий-40. Альфа-излучающих радионуклидов также не было найдено (суммарная удельная активность альфа-излучающих радионуклидов определялась с применением альфа-радиометра, радиохимического выделения альфа-излучающих радионуклидов не проводилось). Содержание радионуклида калий-40 варьируется в пределах характерных границ для гидробионтов других регионов Земли [5; 6; 12]. Незначительное повышенное содержание калия-40 отмечается в гидробионтах реки Ви́жас. Именно данный радионуклид является основным дозообразующим радионуклидом в изученных пробах гидробионтов и вносит основной вклад в суммарную удельную активность по бета-излучению.

Заключение

В заключение необходимо отметить, что искусственных радионуклидов в отобранных пробах гидробионтов не выявлено, за исключением одной пробы с реки Несь. Значения удельных активностей искусственных радионуклидов в пробах данной реки не превышают нормируемых значений для пищевых продуктов. Предполагается, что причиной незначительного повышения содержания радионуклидов цезий-137 и стронций-90 в пробах реки Несь является радиоактивный след, обусловленный испытаниями ядерного оружия на архипелаге Новая Земля.

Радионуклидов естественного происхождения в изученных пробах не найдено, за исключением радионуклида калий-40, характерного для гидробионтов.

Для подтверждения наличия искусственных радионуклидов в гидробионтах реки Несь, а также выявления других возможных причин данного факта планируется повторный отбор проб гидробионтов с данной реки с разделением по видам, возрасту, а также отдельным системам организма, и отбор проб других компонентов природ-

ной среды бассейна реки (донные отложения, водная среда, растительность).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-1919.2020.5.

Список литературы / References

1. Доклад «О состоянии и охране окружающей среды Ненецкого автономного округа в 2018 году», Департамент природных ресурсов, экологии и агропромышленного комплекса Ненецкого автономного округа. Нарьян-Мар, 2019. 130 с.
2. Report «About state and environmental protection of the Nenets Autonomous Okrug in 2018, Department of Natural Resources, Ecology and Agriculture of the Nenets Autonomous Okrug. Naryan-Mar, 2019. 130 p. (in Russian).
3. Мурашко О.А., Даллманн В.К. Трансформации традиционного образа жизни и питания коренного населения Ненецкого автономного округа // Вестник Московского университета. Серия XXIII. 2011. № 4. С. 4–24.
4. Murashko O.A., Dallman V.K. Transformations of the traditional lifestyle and nutrition of the indigenous population of the Nenets Autonomous Okrug // Bulletin of Moscow University. Series XXIII. 2011. № 4. P. 4–24 (in Russian).
5. Муратов О.Э., Тихонов М.Н., Рылов М.И. Ядерно-радиационное наследие на северо-западе России: обеспечение ядерной и радиационной безопасности, роль общественности // Радиационная безопасность. 2014. № 1 (85). С. 34–45.
6. Muratov O.E., Tichonov M.N., Rylov M.I. Nuclear-radiation legacy in the north-west of Russia: ensuring nuclear and radiation safety, role of the public // Radiation safety. 2014. № 1 (85). P. 34–45 (in Russian).
7. Трапезников А.В., Николкин В.Н., Коржавин А.В., Трапезникова В.Н. Радиационно-гигиеническая оценка содержания и распределения Sr-90 и Cs-137 в икhtiофауне Обь-Иртышской речной системы // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12. № 3. С. 16–26. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-16-26.
8. Trapeznikov A.V., Nikolkin V.N., Korzhavin A.V., Trapeznikova V.N. Radiation-hygienic assessment of the concentration and distribution of Sr-90 and Cs-137 in ichthyofauna of the Ob'-Irtysh river system // Radiatsionnaya Gygiena. 2019. Vol. 12. № 3. P. 16–26 (in Russian).
9. Алимова Г.С., Уткина И.Н. Содержание Cs-137 и K-40 в донных отложениях и рыбах р. Иртыш и р. Тобол // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 9. С. 101–104.
10. Alimova G.S., Utkina I.N. Contents Cs-137, and K-40 in bottom sediments and in fishes of r. Irtysh and r. Tobol // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2016. № 9. P. 101–104 (in Russian).
11. Biljana Milenkovic, Jelena M. Stajic, Natasa Stojic, Mira Pucarevic, Snezana Strbac Evaluation of heavy metals and radionuclides in fish and seafood products. Chemosphere. 2019. 229. P. 324–331. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.04.189.
12. МУК 4.3.2503-09 Стронций-90. Определение удельной активности в пищевых продуктах: Методические указания. Федеральный центр гигиены и эпидемиологии. Роспотребнадзор. 2009. 32 с.
13. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. 2002. 144 с.
14. ГОСТ 32161-2013. Продукты пищевые. Метод определения содержания Cs-137. Стандартинформ. 2013. 10 с.
15. ГОСТ 32163-2013. Продукты пищевые. Метод определения содержания Sr-90. Стандартинформ. 2013. 10 с.
16. Телелева А.Д., Евсеев А.В. Радионуклиды в природной среде Кольского полуострова // Проблемы региональной экологии. 2014. № 5. С. 89–94.
17. Teleleeva A.D., Evseev A.V. Radionuclides in the geosystems of the Kola Peninsula // Problems of regional ecology. 2014. № 5. P. 89–94 (in Russian).
18. Hilde Elise Heldal, Andrey Volynkin, Mari Komperod, Rita Hannisdal, Hilde Skjerdal, Anne Liv Rudjord. Natural and anthropogenic radionuclides in Norwegian farmed Atlantic salmon (Salmo salar). Journal of Environmental Radioactivity. 2019. 205–206. P. 42–47. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2019.05.002.