

## ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЗОНАЛЬНОСТИ ХРОНИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОСТРОНЦИЯ В СУХОПУТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

**Р.Р. Шошина\*, Г.В. Лаврентьева\*, \*\*, Б.И. Сынзыныс\***

*\* Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ.*

*249020 Россия, г. Обнинск, Студгородок, 1*

*\*\* Калужский филиал МГТУ им. Н.Э.Баумана*

*248000 Россия, г. Калуга, ул. Баженова, 2*



В системе «почва-растительность-раковины моллюсков» на биотопе регионального хранилища радиоактивных отходов изучалось поведение радионуклида Sr-90. Цель работы – рассмотрение возможности применения концептуальной модели зональности хронического действия ионизирующей радиации в природных популяциях при изучении поведения Sr-90 в сухопутных экосистемах и выявление радиэкологических зон биологического действия хронического облучения ионизирующей радиацией популяции моллюска на основании биогеохимических закономерностей миграции техногенного радиостронция в экосистеме. Анализ образцов почв, растительного материала и моллюсков (улитки кустарниковой) выполнялся методом радиохимического выделения с использованием спектрометра «БЕТА-01С». Годовые дозы внешнего бета-облучения тканей моллюсков вычислялись по формулам Левинджера и Маринелли.

Выявлено, что мощности доз облучения моллюсков лежат в пределах 0,03 – 1,60 Гр/г. На основании этого выполнена структуризация экспериментальных данных об удельной активности Sr-90 в изучаемой системе в соответствии с моделью Г.Г. Поликарпова. На экспериментальной площадке выявлены три экологические зоны с закономерным изменением удельной активности Sr-90 в раковинах моллюсков. В зоне физиологической маскировки содержание нуклида в раковинах может быть большим на порядок и более, чем в растительности. В зонах экологической маскировки и явных экологических эффектов удельные активности радионуклида в раковинах моллюсков по сравнению с его содержанием в растительности уменьшаются в 8 и 40 раз соответственно (снижения удельной активности нуклида в растительности не отмечается). Выполненные исследования позволяют сделать вывод о возможной адаптации показателей миграции Sr-90 в сухопутных экосистемах.

**Ключевые слова:** Sr-90, кустарниковая улитка *Bradybaena Fruticicola fruticum*, экологическая зона, мощность дозы, почвенно-растительный покров.

© Р.Р. Шошина, Г.В. Лаврентьева, Б.И. Сынзыныс, 2015

Изучение радиочувствительности животных представляет интерес для оценки процесса адаптации организмов в условиях повышенного радиационного фона. При этом возможен учет изменения различных показателей, включая генетические, морфологические, численность особей, поведенческую активность и др.

Среди широкого спектра моделей [1, 10, 18], направленных на выявление отклика компонентов биоты на воздействие различного генезиса, может представлять интерес концептуальная модель зональности хронического действия ионизирующей радиации [14]. В соответствии с моделью возможно осуществление прогностической оценки состояния биоты при выявлении радиоэкологических зон мощностей доз ионизирующих излучений в природе. В основе определения граничных доз облучения экологических зон лежит регистрация изменений в наиболее радиочувствительных структурах и функциях живых организмов и их сообществ.

В работе предпринята попытка выявления радиоэкологических зон биологического действия хронического облучения ионизирующей радиацией популяции кустарниковой улитки *Bradybaena Fruticicola fruticum* на основании биогеохимических закономерностей миграции техногенного Sr-90 в системе «почва-растительность-моллюски».

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальной площадкой служит биотоп регионального хранилища радиоактивных отходов, который находится в условиях хронического облучения в результате сформировавшегося нерегулируемого источника поступления техногенных радионуклидов в результате утечки одной из емкостей хранилища [2, 3, 11, 12]. Радиоэкологическая обстановка на территории расположения хранилища обусловлена Sr-90 [12, 21]. Отбор проб почвы, растительности, улиток кустарниковых осуществляли на локальных участках экспериментальной площадки, представляющих наибольший интерес с точки зрения вариации значений мощности доз облучения моллюсков [16].

Отбор проб почв производился методом «конверта» с поверхности почвенного покрова под растительностью с площади 1 м<sup>2</sup>, на которой обитали моллюски, и послойно (0 – 5 см, 20 см).

Отбор проб растительного материала (крапивы двудомной) производили с учетом особенностей обитания моллюсков на локальных участках.

Моллюсков отбирали в количестве не менее 8 – 10 шт. Для более точного расчета мощности доз облучения животных определялся средний возраст улиток [5].

Для определения содержания Sr-90 в отобранных пробах был использован метод радиохимического выделения с последующим измерением активности радионуклида на сцинтилляционном спектрометре «БЕТА-01С» по стандартной методике определения содержания Sr-90 по бета-излучению его дочернего радионуклида Y-90 [7].

Расчет годовых доз внешнего бета-облучения тканей моллюсков за счет Sr-90 и его дочернего радионуклида Y-90, содержащихся в раковинах, производили по формулам Левинджера и Маринелли, учитывая холодный и теплый периоды года [19].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Расчет мощности поглощенных доз для моллюсков с учетом удельных активностей от излучения Sr-90, Cs-137, K-40, As-228 показывает, что основную часть в поглощенной дозе для моллюсков составило внешнее облучение, формируемое Sr-90 (с учетом основного вклада Y-90) для всех исследованных локальных участков [12]. Известно, что моллюски могут быть индикаторами содержания Sr-90 в природной среде ввиду способности активно накапливать радионуклид в своих раковинах [17, 20].

Следует отметить, что подходы к интерпретации данных о содержании радионуклидов в компонентах экосистем достаточно широки, включая биогеохимические показатели миграции радионуклидов, изменение морфологических показателей, поведенческой активности, генетических показателей и др. При этом могут представлять интерес функциональные зависимости изменения удельной активности Sr-90 в системе «почва-растительность-раковины моллюсков».

Полученные в ходе эксперимента функциональные зависимости были обработаны и распределены согласно концептуальной модели зональности хронического действия ионизирующей радиации [8, 9, 14, 15,]. В соответствии с рассматриваемой моделью, экосистема, подвергающаяся хроническому действию ионизирующей радиации, зонирована на пять категорий: *зона неопределенности* (ниже наименьшего уровня природного фона:  $< 0,00001 - 0,00004$  Гр/г); *зона радиационного благополучия* (в пределах природного фона:  $0,00004 - 0,005$  Гр/г); *зона физиологической маскировки* ( $0,005 - 0,05$  Гр/г); *зона экологической маскировки* ( $0,05 - 0,4$  Гр/г) и *зона явного действия* ( $> 0,4$  Гр/г – зона драматических эффектов для наземных животных). Классификация распространяется на все уровни организации живой природы с учетом изменения в наиболее радиочувствительных структурах и функциях живых организмов и сообществ [14]. В данной работе рассматривается применение модели на видовом уровне с учетом функциональных зависимостей изменения удельной активности Sr-90 в системе «почва-растительность-раковины моллюсков».

Анализ полученных мощностей доз облучения моллюсков в пределах исследованной экспериментальной площадки позволяет заключить, что ни один локальный участок не находится в пределах зоны неопределенности и зоны радиационного благополучия.

К зоне физиологической маскировки на основании рассчитанных мощностей доз облучения моллюсков можно отнести пять локальных участков (рис. 1).

Можно предположить, что способность к накоплению Sr-90 раковинами моллюсков в данной экологической зоне не подвержена угнетению. При этом наблюдается увеличение удельной активности радионуклида в раковинах моллюсков в 2 – 11 раз и 2 – 14 раз по сравнению с его удельной активностью в растениях и почве соответственно.

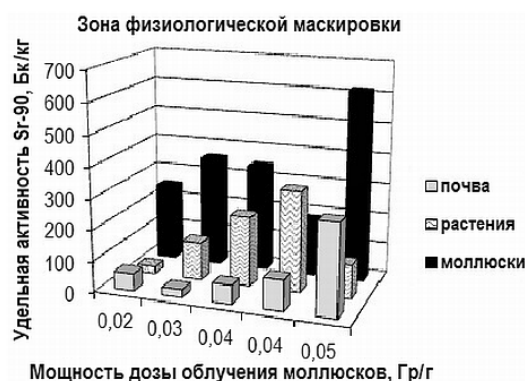


Рис.1. Изменение удельной активности Sr-90 в системе «почва-растительность-раковины моллюсков» в зоне физиологической маскировки

В зоне экологической маскировки, к которой можно отнести семь локальных участков (рис. 2), наблюдается резкое снижение удельной активности радионуклида в раковинах моллюсков до шести и восьми раз по сравнению с содержанием радионуклида в почве и растительности соответственно, несмотря на высокое содержание Sr-90 как в почве (от 370 до 5200 Бк/кг), так и в рас-

тельности (от 1 до 3 кБк/кг).

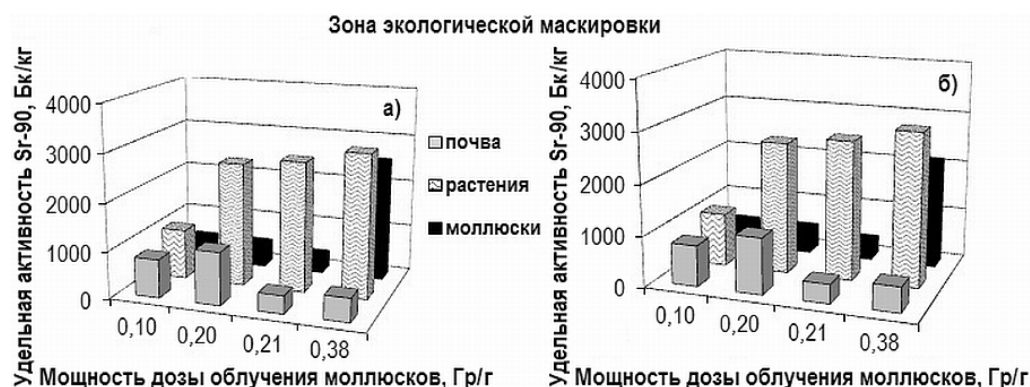


Рис. 2. Изменение удельной активности Sr-90 в системе «почва-растительность-раковины моллюсков» в зоне экологической маскировки

Полученная закономерность может быть обусловлена высокой чувствительностью моллюсков к действию загрязнителей разного генезиса [4, 6, 13]. Можно предположить, что биологический аппарат моллюсков, готовящий стронций к включению в состав раковины, также является чувствительным к негативному воздействию [20]. Повышенные уровни ионизирующей радиации могут быть причиной нарушения функционирования этого аппарата, что приводит к снижению содержания радионуклида в раковинах. С другой стороны, при полученных мощностях доз может выражаться угнетающее действие Sr-90 на потребность моллюсков в поедаемости корма.

Подобная зависимость изменения удельной активности Sr-90 проявляется на четырех локальных участках в зоне явных экологических эффектов (рис. 3), характеризующейся мощностью дозы облучения более 0,4 Гр/г.



Рис.3. Изменение удельной активности Sr-90 в системе «почва-растительность-раковины моллюсков» в зоне явных экологических эффектов

Удельная активность радионуклида в раковинах моллюска уменьшается в 6 – 40 раз по сравнению с содержанием радионуклида в растениях. При этом наблюдается резкое увеличение (до 38-ми раз) радионуклида в растительности по сравнению с его содержанием в почве.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка принципов и методов оценки состояния биологических систем разного уровня организации является важной научной и практической задачей, для успешного решения которой необходимо понимание закономерностей поведения загрязняющих веществ в экосистемах. В проведенных исследованиях были выяв-

лены закономерности миграции радионуклида Sr-90 в системе «почва-растительность-раковины моллюсков». Установлено, что моллюски вида *Bradybaena fruticicola fruticum* отличаются способностью активно накапливать Sr-90 в раковинах, что может характеризовать их как индикатора радиационного загрязнения почвенно-растительного покрова радиостронцием [20]. При этом удельные активности радионуклида в раковинах варьируют в широких пределах в зависимости от содержания Sr-90 в почвенно-растительном покрове и соответственно от мощности дозы облучения. В данной работе определено, что удельные активности Sr-90 в раковинах моллюсков закономерно изменяются в экологических зонах, предложенных в концептуальной модели зональности хронического действия ионизирующей радиации. Следует отметить, что наряду с ранее применяемыми вариативными показателями в рамках этой модели, таких как увеличение темпов клеточного деления у простейших *Colpoda sp.*, двигательная ориентации у планарии *Dugesia doroccephala*, уменьшение митотической активности у эмбрионов морских рыб *Scorpena porcus*, исчезновение старше-возрастных групп в популяциях *Carassius auratus gibelio* и др. [14], возможна адаптация биогеохимических закономерностей и показателей миграции Sr-90 в сухопутных экосистемах к рассматриваемой модели.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Договор №НК-15-38-20142\15)**

### Литература

1. Баумгертнер М. В. Оценка экологического состояния окружающей среды Кемеровской области с помощью метода лишеноиндикации // Проблемы региональной экологии. 2011, № 6. С. 180-182.
2. Васильева А.Н., Козьмин Г.В., Н.Е. Латынова и др. Общие закономерности загрязнения геосистем в районе размещения регионального хранилища радиоактивных отходов // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2007. № 2. – С. 64–74.
3. Васильева А.Н., Козьмин Г.В., Вайзер В.И. и др. Оценка защитных барьеров на пути миграции радионуклидов в районе размещения хранилища радиоактивных отходов // Известия ВУЗов. Ядерная энергетика. 2007. № 3. Выпуск 1. – С. 74–82.
4. Ганин Г.Н. Пороговый эффект у беспозвоночных при миграции тяжелых металлов в трофической цепи почва–педобионты // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С. 98-106.
5. Гребенников М.Е., Хохуткин И.М. Содержание тяжелых металлов в наземных моллюсках в районе Среднеуральского медеплавильного завода // Материалы научно-практической конференции «Экологические основы стабильного развития Прикамья». г. Пермь. 2000. 92 с.
6. Карнаухов В.Н. О роли каротиноидов в формировании липофусцина и адаптации клеток к недостатку кислорода // Цитология. 1973. Т. 15. № 5. С. 538-542.
7. Кузнецов А.В., Силин В.И., Павлоцкая Ф.И., Халиков С.К., Ниязов Х.Р. Методические указания по определению содержания Sr-90 и Cs-137 в почвах и растениях. М., 1985. 26 с.
8. Кутлахмедов Ю.А., Корогодин В.И., Родина В.В., Матвеева И.В., Петрусенко В.П., Саливон А.Г., Леншина А.Н. Теория и модели радиоемкости в современной радиоэкологии. / В сб. матер. Международной конференции «Радиоэкология: итоги, состояние и перспективы». М., 2008. С. 177–193.
9. Кутлахмедов Ю.А., Матвеева И.В., Петрусенко В.П., Саливон А.Г., Родина В.В., Леншина А.Н. Проблемы экологического нормирования и радиационная безопасность биоты экосистем // Техногенная безопасность. Т. 116. Вып. 103, 2009. С. 29-33.
10. Кутлахмедов Ю.А., Матвеева И.В., Заитов В.Р. Моделирование радиоэкологических процессов методом камерных моделей на примере села в Волынской области // Вісник Національного авіаційного університету. 2005, № 3. С. 173–176.
11. Лаврентьева Г.В., Бахвалов А.В., Сынзыныс Б.И., Муллаярова Р.Р. Технология оценки экологического риска для сухопутной экосистемы в условиях хронического радиоактивного загрязнения // Проблемы анализа риска. 2012. Т. 9. № 5. – С. 30–43.
12. Лаврентьева Г.В., Силин И.И., Сынзыныс Б.И. Загрязнение геосистем радиоактивным



стронцием в районе размещения регионального хранилища радиоактивных отходов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2015, № 1. С. 36–46.

13. Петухова Г.А. Моллюски как чувствительные тест-индикаторы состояния перфитона при действии антропогенного пресса загрязнителей // Вестник Тюменского государственного университета 2005. № 5. С. 97-100.

14. Поликарпов Г. Г. Радиационная защита биосферы, включая Homo Sapiens: выбор принципов и поиски решения // Морской экологический журнал. Т. 5. № 1. 2006. С.16-34.

15. Поликарпов Г.Г., Цыцугина В.Г. Гидробионты в зоне влияния аварии на Кыштыме и в Чернобыле. // Радиационная биология. Радиоэкология. 1995. Т. 35. № 4. С. 536-548.

16. Сынзыныс Б.И., Мирзеабасов О.А., Лаврентьева Г.В., Шошина Р.Р., Момот О.А. Оценка радиационного экологического риска и её неопределённость для биоценоза регионального хранилища радиоактивных отходов // Радиация и риск. 2014. Т.23. №4. С.43-54

17. Францевич Л.И, Паньков И.В, Ермаков А.А, Корнюшин А.В, Захарчук Т.Н. Моллюски-индикаторы загрязнения среды // Экология. 1995. №1. С. 57-62.

18. Фрид А.С. Модели миграции Cu, Zn, Cd в почвах при орошении городскими сточными водами // Математические модели в теоретической экологии и земледелии, 2014. -С.73-76

19. Хайна Дж., Браунелл Г. Радиационная дозиметрия. / Под ред. Н.Г. Гусева, К.А. Труханова –М.: Изд-во иностранной литературы. 1958. 637с.

20. Шошина Р. Р., Лаврентьева Г. В., Гешель И. В., Сынзыныс Б. И. Биогеохимические показатели миграции техногенного радионуклида Sr-90 на биотопе регионального хранилища радиоактивных отходов // Ядерная физика и инжиниринг. 2014. Т. 5, № 3. С. 223–228.

21. Lavrentyeva G.V. Characteristic of pollution with groundwater inflow <sup>90</sup>Sr natural waters and terrestrial ecosystems near a radioactive waste storage // Journal of Environmental Radioactivity. №135. 2014. PP. 128-134.

Поступила в редакцию 27.02.15 г.

#### Авторы

Шошина Регина Ринатовна, аспирант

E-mail: regina.rinatovna.m@mail.ru

Лаврентьева Галина Владимировна: кандидат биол. наук, доцент

E-mail: Lavrentyeva\_G@list.ru

Сынзыныс Борис Иванович: доктор биол. наук, профессор

E-mail: ecology@iate.obninsk.ru

UDC 504.064.2.001.18

## APPLICATION OF ZONALITY CONCEPTUAL MODEL OF CHRONIC EFFECTS OF IONIZING RADIATION FOR STUDYING THE BEHAVIOR OF RADIOSTRONTIUM IN TERRESTRIAL ECOSYSTEMS

Shoshina R.R.\*, Lavrentyeva G.V.\*,\*\*, Synzynys B.I.\*

\*Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, National Research Nuclear University MEPhI.

1 Studgorodok, Obninsk, Kaluga reg., 249040 Russia

\*\*Kaluga branch, Bauman Moscow State Technical University.

2 Bazhenov str., Kaluga, 248000 Russia

### ABSTRACT

The study of the behavior of radionuclides Sr-90 in the system of «soil-plants-shell clams» on biotope regional radioactive waste storage was conducted. The purpose of the work was to examine the possibility of applying of conceptual model zonality of a chronic action of ionizing radiation in natural populations in the study of behavior of radiostrontium in terrestrial ecosystems and in identifying radioecological zones of the biological action of a chronic exposure to ionizing radiation of the mollusc population based on of the biogeochemical regularities of technogenic migration of Sr-90 in the system «soil-plant-molluscs». The study was conducted at the experimental territory presented biotope of the regional radioactive waste storage. Selected samples of soil, plant material (*Urtica dioica*) and molluscs (snails shrub) have analyzed using the method of radiochemical separation followed by measuring the activity of the radionuclide on the scintillation spectrometer «BETA-01C». Calculation of annual doses of external beta-irradiated tissues molluscs by Sr-90 and its subsidiary radionuclide Y-90 contained in the shells, using the formula Levinger and Marinelli.

Thus, found that the dose rates of molluscs *Bradybaena Fruticicola fruticum* vary within 0,03-1,60 Gy/year. Based on the obtained dose rates of irradiation was performed structuring of the experimental data on the specific activity of Sr-90 in the studied system with regard of the zonality conceptual model of chronic effects of ionizing radiation, G.G.Polikarpov. In the studied area it is possible to determine the identity local sites of research in three ecological zones: a zone of physiological masking, a zone of ecological masking, a zone of explicit environmental effects. The specific activities of Sr-90 in mollusc shells regularly change in ecological zones. In connection with this in addition with the previously applied variative parameters within the conceptual model can be adapted and biogeochemical regularities and indicators of migration of Sr-90 in terrestrial ecosystems.

**Key words:** Sr-90, mollusc *Bradybaena Fruticicola fruticum*, ecological zone, the dose rate, land cover.

### REFERENCES

1. Baumgertner M. V. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya okruzhayushchey sredy Kemerovskoy oblasti s pomoshchyu metoda lihenoindikatsii [Assessment of ecological state of the environment of Kemerovo region by the method lichenoidication] *Problemy regionalnoj ekologii*, 2011, no. 6, pp. 180-182 (in Russian).
2. Vasileva A.N. Kozmin G.V., Latyina N.E. et al. Obschie zakonomernosti zagryazneniya geosistem v rayone razmesheniya regionalnogo hranilischa radioaktivnykh othodov [General regularities of pollution geosystems in the placement of the regional radioactive waste storage]. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*. 2007, no. 2, pp. 64-74 (in Russian).

3. Vasileva A.N., Kozmin G.V., Vayzer V.I. et al. Ocenka zaschitnyh bar'erov na puti migracii radionuklidov v rajone razmescheniya hranilischa radioaktivnyh othodov [Evaluation of protective barriers to the migration of radionuclides in the area of radioactive waste disposal facility] *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*. 2007, no. 3, pp. 74–82 (in Russian).
4. Ganin G.N. Porogovyj effekt u bespozvonochnyh pri migracii tyazhyolyh metallov v troficheskoj cepi pochva–pedobionty [Threshold effect in invertebrates during migration of heavy metals in the food chain soil–pedalion]. *Vestnik DVO RAN*. 2008, no. 1, pp. 98–106 (in Russian).
5. Grebennikov M.E., Hohutkin I.M. Soderzhanie tyazhyolyh metallov v nazemnyh molljuskah v rajone Sredneural'skogo medeplavil'nogo zavoda [The content of heavy metals in terrestrial molluscs in the area of Sredneural'sky copper smelter]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii Ekologicheskie osnovy stabil'nogo razvitiya Prikam'ya*. Perm'. 2000. p. 92 (in Russian).
6. Karnauhov V.N. «O roli karotinoidov v formirovanii lipofuscina i adaptacii kletok k nedostatku kisloroda» [About the role of carotenoids in the formation of lipofuscin and adaptation of cells to oxygen deficiency]. *Citologiya*. 1973, v. 15, no. 5, pp. 538–542 (in Russian).
7. Kuznecov A.V., Silin V.I., Pavlockaya F.I., Halikov S.K., Niyazov H.R. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu soderzhaniya Sr-90 i Cs-137 v pochvah i rasteniyah [Methodical guidelines on determination of the Sr-90 and Cs-137 in soils and plants]. Moscow. 1985, p. 26 (in Russian).
8. Kutlahmedov Yu.A., Korogodin V.I., Rodina V.V., Matveeva I.V., Petrusenko V.P., Salivon A.G., Lenshina A.N. Teoriya i modeli radioemkosti v sovremennoj radioekologii [Theory and models in modern radioecology radiocapacity] *Vsb. materialov Mezhdunarodnoy konferentsii «Radioekologiya: itogi, sostoyanie i perspektivy»* / Moscow. 2008, pp. 177–193 (in Russian).
9. Kutlahmedov Yu.A., Matveeva I.V., Petrusenko V.P., Salivon A.G., Rodina V.V., Len'shina A.N. Problemy ekologicheskogo normirovaniya i radiacionnaya bezopasnost' bioty ekosistem [Problems of environmental regulation and radiation safety of biota of ecosystems]. *Tehnogennaya bezopasnost'*. 2009, v. 116. iss. 103, pp. 29–33 (in Russian).
10. Kutlahmedov Yu.A., Matveeva I.V., Zaitov V.R. Modelirovanie radioekologicheskikh processov metodom kamernykh modelej na primere sela v Volynskoy oblasti [Modeling of radioecological processes method of chamber models on the example village in Volyn' region]. *Visnik Natsionalnogo aviatsiynogo universitetu*. 2005, no. 3, pp. 173–176. (in Russian)
11. Lavrentyeva G.V., Bahvalov A.V., Syinzyinyis B.I., Mullayarova R.R. Tehnologiya ocenki ekologicheskogo riska dlya suhoputnoj ekosistemy v usloviyah hronicheskogo radioaktivnogo zagryazneniya [Technology of ecological risk assessment for the terrestrial ecosystem under chronic radioactive contamination]. *Problemy analiza riska*. 2012, v. 9, no. 5, pp. 30–43 (in Russian).
12. Lavrentyeva G.V., Silin I.I., Synzynys B.I. Zagryaznenie geosistem radioaktivnym stronciem v rajone razmescheniya regional'nogo hranilischa radioaktivnyh othodov [Pollution of geosystems of radioactive strontium in the placement of regional radioactive waste storage]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2015, no. 1, pp. 36–46 (in Russian).
13. Petuhova G.A. Mollyuski kak chuvstvitel'nye test-indikatory sostoyaniya perfitona pri dejstvii antropogennogo pressa zagryaznitelej» [Molluscs as sensitive test status indicators of periphyton under the action of anthropogenic pressure pollutants]. *Vestnik Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2005, no. 5, pp. 97–100 (in Russian).
14. Polikarpov G. G. Radiacionnaya zaschita biosfery, vkljuchaya Homo Sapiens: vybor principov i poiski resheniya [Radiation protection of the biosphere, including Homo Sapiens: the choice of the principles and searches of solutions]. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*. 2006, v. 5, no. 1, pp. 16–34 (in Russian).
15. Polikarpov G.G., Cycugina V.G. Gidrobionty v zone vliyaniya avarii na Kyshtyme i v Chernobyle. [Hydrobionts in the zone of influence of the accident at the Kyshtym and Chernobyl. Radiation Biology. Radioecology]. *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya*. 1995, vol. 35, no. 4, pp. 536–548 (in Russian).
16. Synzynys B.I., Mirzeabasov O.A., Lavrent'eva G.V., Shoshina R.R., Momot O.A. Ocenka



radiacionnogo ekologicheskogo riska i ego neopredel'jonnost' dlya biocenoza regional'nogo hranilischa radioaktivnyh othodov [Assessment of the radiative environmental risks and its uncertainty for the biocenosis of regional radioactive waste storage]. *Radiaciya i risk*. 2014, v. 23, no. 4, pp. 43-54 (in Russian).

17. Francevich L.I., Pan'kov I.V., Ermakov A.A., Kornjushin A.V., Zaharchuk T.N. Mollyuski-indikatory zagryazneniya sredy [Molluscs-indicators of environmental pollution]. *Ekologiya*. 1995, no. 1, pp. 57-62 (in Russian).

18. Frid A.S. Modeli migracii Cu, Zn, Cd v pochvah pri oroshenii gorodskimi stochnyimi vodami [Models of migration Cu, Zn, Cd in soils under irrigation by municipal wastewater]. *Matematicheskie modeli v teoreticheskoy ekologii i zemledelii*. 2014, pp. 73-76. (in Russian).

19. Hajna Dzh., Braunell G. *Radiacionnaya dozimetriya* [Radiation dosimetry]. Editors, Guseva N.G., Truhanova K.A. Moscow, Izdatel'stvo inostrannoj literatury Publ., 1958, p. 637 (in Russian).

20. Shoshina R. R., Lavrent'eva G. V., Geshel' I. V., Synzynys B. I. Biogeoхимические показатели миграции техногенного радионуклида Sr-90 на биотопе regional'nogo hranilischa radioaktivnyh othodov [Biogeochemical indicators of migration of technogenic radionuclides Sr-90 on biotope of regional radioactive waste storage]. *Yadernaya fizika i inzhiniring*. 2014, v. 5, no. 3, pp. 223-228 (in Russian).

21. Lavrentyeva G.V. Characteristic of pollution with groundwater inflow  $^{90}\text{Sr}$  natural waters and terrestrial ecosystems near a radioactive waste storage. *Journal of Environmental Radioactivity* 2014, no. 135, pp. 128-134.

#### **Авторы**

Shoshina Regina Rinatovna, PhD Student

E-mail: regina.rinatovna.m@mail.ru

Lavrent'eva Galina Vladimirovna, Associate Professor, Cand. Sci. (Biology)

E-mail: Lavrentyeva\_G@list.ru

Synzynys Boris Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Biology)

E-mail: ecology@iate.obninsk.ru