

УДК 550.422: 581.5
doi: 10.21685/2307-9150-2023-2-2

Содержание радионуклидов в листьях растений семейства Астровые

А. В. Дрангой¹, О. Л. Воскресенская², В. С. Воскресенский³

^{1,2,3}Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия

¹ichigo.lotos@mail.ru, ²voskres2006@rambler.ru, ³woron6960@gmail.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* Изучение поведения естественных и искусственных радионуклидов становится все более актуальным вследствие их извлечения и перераспределения с полезными ископаемыми, испытаний ядерного оружия и промышленных, радиационных аварий и катастроф [1]. *Материалы и методы.* Исследования проведены на базе кафедры экологии Института естественных наук и фармации Марийского государственного университета. Объектами исследования служили листья пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.), тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.), одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*, Wigg. s. L.), мать-и-мачехи обыкновенной (*Tussilago farfara* L.), полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.), собранных с растений в Республике Марий Эл (п. Советский, г. Йошкар-Ола) и в Ханты-Мансийском автономном округе – Югра (г. Лангепас). Изучали накопление и распределение радионуклидов естественного и техногенного происхождения. *Результаты.* В ходе исследования выяснили, что в листьях растений, произрастающих на территории г. Йошкар-Олы, было обнаружено наибольшее содержание цезия-137. Максимальное количество ¹³⁷Cs обнаружено в листьях пижмы обыкновенной. По содержанию стронция-90 преобладали одуванчик лекарственный и полынь обыкновенная, растущие в п. Советский. В листьях полыни обыкновенной и пижмы обыкновенной, растущих на территории п. Советский, и у мать-и-мачехи обыкновенной, произрастающей в г. Лангепас, выявлено высокое содержание калия-40. *Выводы.* Исходя из полученных данных, можно сказать, что естественные и техногенные радионуклиды активно накапливаются в растениях семейства Астровые.

Ключевые слова: мать-и-мачеха обыкновенная, одуванчик лекарственный, пижма обыкновенная, полынь обыкновенная, тысячелистник обыкновенный, радионуклиды, калий-40, стронций-90, цезий-137

Для цитирования: Дрангой А. В., Воскресенская О. Л., Воскресенский В. С. Содержание радионуклидов в листьях растений семейства астровые // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. № 1. С. 28–38. doi: 10.21685/2307-9150-2023-2-2

The radionuclides content in the leaves of the Asteraceae family plants

A.V. Drangoy¹, O.L. Voskresenskaya², V.S. Voskresenskiy³

© Дрангой А. В., Воскресенская О. Л., Воскресенский В. С., 2023. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

^{1,2,3}Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia¹ichigo.lotos@mail.ru, ²voskres2006@rambler.ru, ³woron6960@gmail.com

Abstract. Background. The study of natural and artificial radionuclides behavior is becoming increasingly important due to their extraction and redistribution with minerals, nuclear testing and industrial, radiation accidents and disasters [1]. **Materials and methods.** The studies were carried out on the basis of the Ecology Department of the Institute of Natural Sciences and Pharmacy of the Mari State University. The objects of the study were the leaves of common tansy (*Tanacetum vulgare* L.), common yarrow (*Achillea millefolium* L.), common dandelion (*Taraxacum officinale*, Wigg. s. L.), coltsfoot (*Tussilago farfara*, L.), common mugwort (*Artemisia vulgaris* L.), collected in the Republic of Mari El (urban-type settlement Sovetsky, Yoshkar-Ola city) and in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra (Langepas city). It was studied the accumulation and distribution of radionuclides of natural and technogenic origin. **Results.** During the study, it was found that the highest content of ¹³⁷Cs present in the leaves of plants growing on the territory of Yoshkar-Ola. The maximum amount of ¹³⁷Cs was found in the leaves of common tansy. The largest amount of ⁹⁰Sr was found in leaves of dandelion officinalis and wormwood, growing in Sovetsky. A high content of ⁴⁰K was found in the leaves of wormwood and tansy, growing on the territory of Sovetsky and in coltsfoot growing in Langeepas. **Conclusions.** Based on the results of study, it found that natural and technogenic radionuclides are actively accumulated in plants of the Asteraceae family.

Keywords: coltsfoot, common dandelion, common tansy, common mugwort, common yarrow, radionuclides, ⁴⁰K, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs

For citation: Drangoy A.V., Voskresenskaya O.L., Voskresenskiy V.S. The radionuclides content in the leaves of the Asteraceae family plants. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2023;(2):28–38. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2023-2-2

Введение

В последние годы происходит перераспределение и поступление в почву, а также в растения естественных (⁴⁰K) и искусственных радионуклидов (⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs), не обладающих высокой мобильностью в пищевых цепочках, но относящихся к высокотоксичным веществам. Стронций-90 и цезий-137 являются долгоживущими и особо токсичными радионуклидами, поэтому представляют высокую опасность для жизнедеятельности живых организмов. Переход радионуклидов из почвы в растение является главным в процессах их распределения в наземных экосистемах. Находящиеся в почве радионуклиды переходят в растения и включаются в биологический круговорот [2, 3].

Распределение радионуклидов в растении происходит неодинаково: наибольшая часть изотопов концентрируется в листьях, стеблях и корнях, меньше всего в плодах, семенах [4].

Содержание радионуклидов в растениях обусловливается их концентрацией и формой в окружающей среде, видом и состоянием растений, видом экосистемы. Попадая из почвы в растение, радиоактивные вещества задерживаются в корневой системе или проникают в наземные части в зависимости от своих свойств. Содержащиеся в листьях и хвое радионуклиды периодически возвращаются в почву. Вещества, накопленные травами, после их отмирания полностью переходят в почву [5].

Данные о распределении радиоактивных изотопов важны для оценки их миграции в наземных экосистемах, подверженных воздействию техногенных процессов [6].

Источниками радиоактивного загрязнения считаются продукты захоронения ядерной промышленности, выбросы радиоактивных веществ в результате аварий, выбросы от предприятий атомной промышленности, продукты испытаний ядерного оружия. Загрязнение радионуклидами почв и растений связано не только с объектами радиоактивного загрязнения, а также с переносами воздушных масс, водной миграцией, материнскими породами [7].

Целью работы являлось определение накопления и распределения радионуклидов естественного (^{40}K) и техногенного (^{90}Sr , ^{137}Cs) происхождения в листьях растений семейства Астровые.

Материалы и методы

Исследования проведены на базе кафедры экологии Института естественных наук и фармации Марийского государственного университета. Материал для исследований был собран на территории Республики Марий Эл (г. Йошкар-Ола и п. Советский), а также в г. Лангепас Ханты-Мансийского автономного округа.

Объектами исследования являлись листья растений семейства Астровые (5 видов): пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.), тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.), одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*, Wigg. s. L.), мать-и-мачехи обыкновенной (*Tussilago farfara* L.), полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.). Исследования проводились с начала июня по конец августа 2022 г.

Определение содержания естественных и искусственных радионуклидов осуществлялось при помощи гамма-бета-спектрометра МКС-АТ1315, с программным обеспечением «SPTR». Измерение активности радионуклидов выполняли путем экспозиции исследуемой пробы, установленной в блок защиты, без специальной пробоподготовки. Спектрометр предназначен для качественного и количественного анализа проб объектов окружающей среды различного происхождения и консистенции на содержание гамма-бета-излучающих радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{40}K) [8].

Полученные данные были обработаны с помощью программы «STATISTICA». Использовались следующие статистические характеристики: минимальные и максимальные значения в выборке, стандартное отклонение и среднее значение. В работе применялся двухфакторный дисперсионный анализ (1-й фактор – вид; 2-й фактор – местообитание).

Результаты и обсуждение

Калий-40 (^{40}K) в растительном организме находится в виде ионов, связанных с протоплазмой. Калий повышает оводненность протоплазмы и увеличивает ее водоудерживающую силу. Относится к наиболее потребляемым химическим элементам [9].

На территории г. Йошкар-Олы большое содержание ^{40}K отмечалось у пижмы обыкновенной – 395 Бк/кг, что в 1,3 раза меньше по сравнению с растениями, произрастающими в п. Советский (рис.1). Тысячелистник обыкновенный, растущий в г. Йошкар-Ола содержал на 21% больше калия-40, чем в п. Советский, и на 36% больше, чем в г. Лангепас. В листьях остальных исследованных видов растений на территории г. Йошкар-Олы отмечено низкое содержание ^{40}K .

Среди растений, произрастающих в п. Советский, наибольшее количество калия-40 обнаружено у полыни обыкновенной (591 Бк/кг) и пижмы обыкновенной (513 Бк/кг). Тысячелистник обыкновенный, мать-и-мачеха обыкновенная, одуванчик лекарственный в среднем содержали в 2,4 раза меньше калия-40. Также отмечено, что в листьях одуванчика лекарственного содержалось наименьшее количество ^{40}K , чем в других районах исследования (122,4 Бк/кг).

Мать-и-мачеха, произрастающая на территории г. Лангепас, в среднем содержала в листьях на 60 % больше ^{40}K , чем в других районах исследования (481 Бк/кг). Высокое содержание калия-40 обнаружено в листьях полыни обыкновенной (393 Бк/кг), но это в 1,5 раза меньше, чем у растений, произрастающих на территории п. Советский. Пижма обыкновенная в г. Лангепас содержала минимальное количество калия-40 по сравнению с растениями из других исследованных районов – 295 Бк/кг. Наименьшее содержание ^{40}K обнаружено в листьях тысячелистника обыкновенного – 174 Бк/кг (рис. 1).

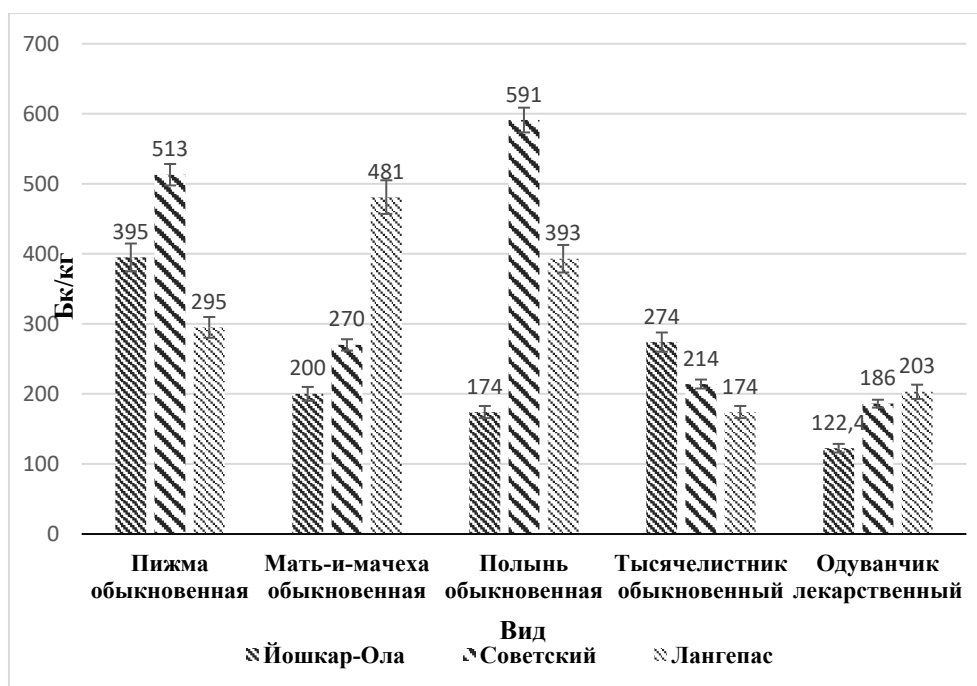


Рис. 1. Содержание ^{40}K в листьях растений семейства Астровые в пунктах исследования (г. Йошкар-Ола, п. Советский, г. Лангепас)

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа было выявлено, что содержание калия-40 связано с двумя анализируемыми факторами: вид растения ($p < 0,001$) и район исследования ($p < 0,001$) (рис. 2).

Цезий-137 (^{137}Cs) – основной дозообразующий радионуклид. Сорбируется почвой и донными отложениями. Содержится в растениях, организме животных и человека [10].

Наибольшее содержание ^{137}Cs отмечается у всех растений, произрастающих на территории г. Йошкар-Олы (рис. 3). Максимальное количество отмечалось у пижмы обыкновенной (29,9 Бк/кг) и мать-и-мачехи (25,9 Бк/кг). В листьях полыни обыкновенной содержалось на 23,8 % меньше цезия-137

по сравнению с пижмой обыкновенной. Тысячелистник обыкновенный и одуванчик лекарственный меньше всего накапливали радиоактивный цезий.

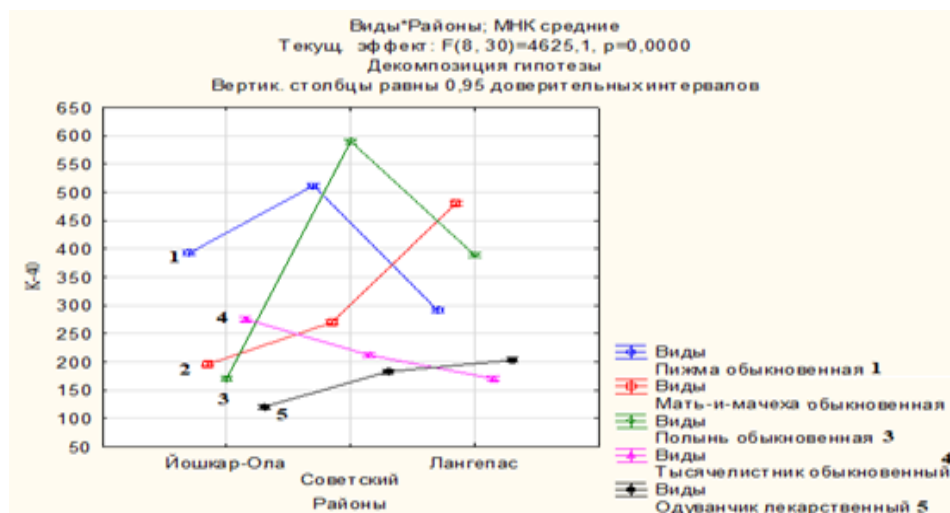


Рис. 2. Двухфакторный дисперсионный анализ содержания ^{40}K в листьях исследованных видов семейства Астровые

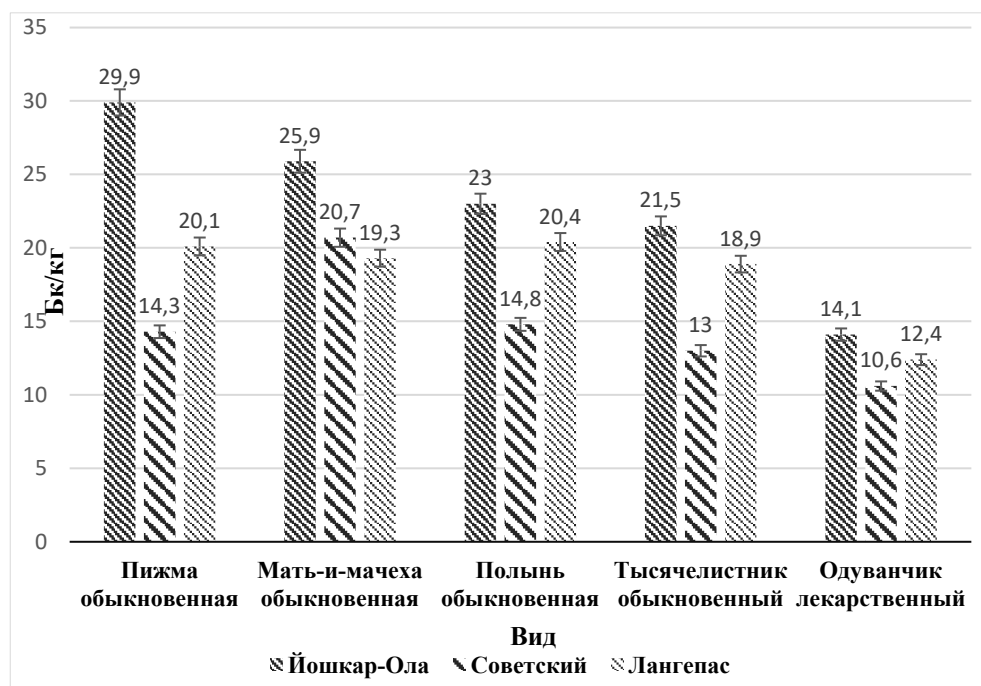


Рис. 3. Содержание ^{137}Cs в листьях растений семейства Астровые в пунктах исследования (г. Йошкар-Ола, п. Советский, г. Лангепас)

Количество ^{137}Cs в листьях всех растений, произрастающих в п. Советский, было наименьшим по сравнению с другими пунктами исследования. Среди исследованных видов наибольшее количество цезия обнаружено у мать-и-мачехи – 20,7 Бк/кг, но это в 1,3 раза меньше по сравнению с рас-

тением, произрастающим в г. Йошкар-Ола. Остальные виды, растущие в п. Советский, содержали минимальное количество цезия. В листьях тысячелистника обыкновенного обнаружено 13 Бк/кг, в листьях одуванчика лекарственного в 1,2 раза меньше – 10,6 Бк/кг (рис. 3).

Среди исследованных видов растений, произрастающих на территории г. Лангепас наибольшее содержание цезия-137 зафиксировано в листьях полыни обыкновенной – 20,4 Бк/кг. Пижма обыкновенная содержала в 1,5 раза (20,1 Бк/кг) меньше цезия-137 по сравнению с растением, растущим в г. Йошкар-Ола. Среди растений, растущих в г. Лангепас, минимальное количество радионуклида обнаружено у тысячелистника обыкновенного (18,9 Бк/кг) и одуванчика лекарственного (12,4 Бк/кг) (рис. 3).

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа было выявлено, что на содержание цезия-137 влияют оба фактора: вид растения ($p < 0,001$) и район исследования ($p < 0,001$) (рис. 4).

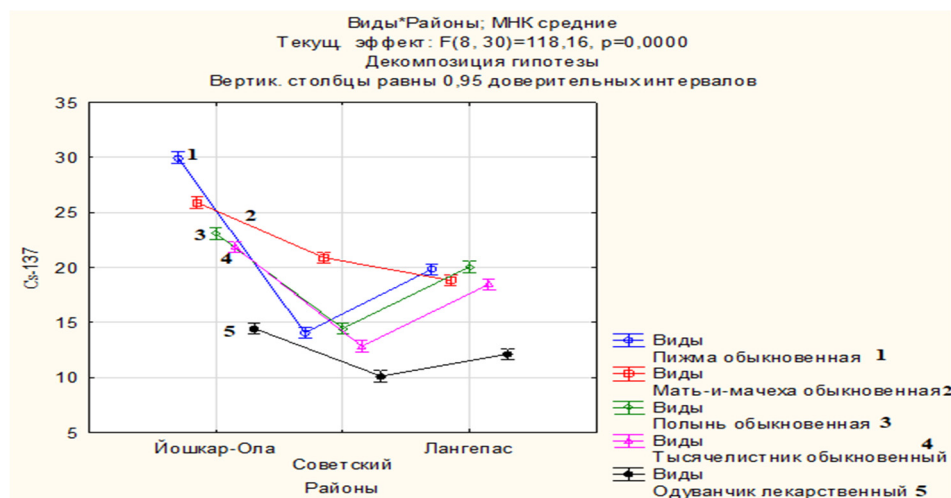


Рис. 4. Двухфакторный дисперсионный анализ содержания ^{137}Cs в листьях исследованных видов семейства Астровые

Стронций-90 (^{90}Sr) является аналогом жизненно важного элемента Са и способен замещать его в химических соединениях. Активно включается в цепочки миграции и с пищевыми продуктами растительного и животного происхождения поступает в организм человека [11].

В растениях, растущих на территории г. Йошкар-Олы, отмечено меньшее содержание ^{90}Sr по сравнению с другими районами (рис. 5). При этом наибольшее содержание стронция отмечалось у одуванчика лекарственного (51 Бк/кг). Остальные виды растений, произрастающие на территории г. Йошкар-Олы, содержали от 28,7 до 42,8 Бк/кг стронция-90. Минимальное количество обнаружено у полыни обыкновенной – 28,7 Бк/кг, что в 2 раза меньше, чем у растения, произрастающего п. Советский.

Растения, произрастающие в п. Советский, характеризовались большим содержанием радионуклида. Максимальное количество обнаружено у полыни обыкновенной и одуванчика лекарственного (57,6 и 56,7 Бк/кг). Наименьшее количество стронция зарегистрировано у мать-и-мачехи (33,9 Бк/кг), что в 1,7 раза меньше по сравнению с полынью обыкновенной (рис. 5).

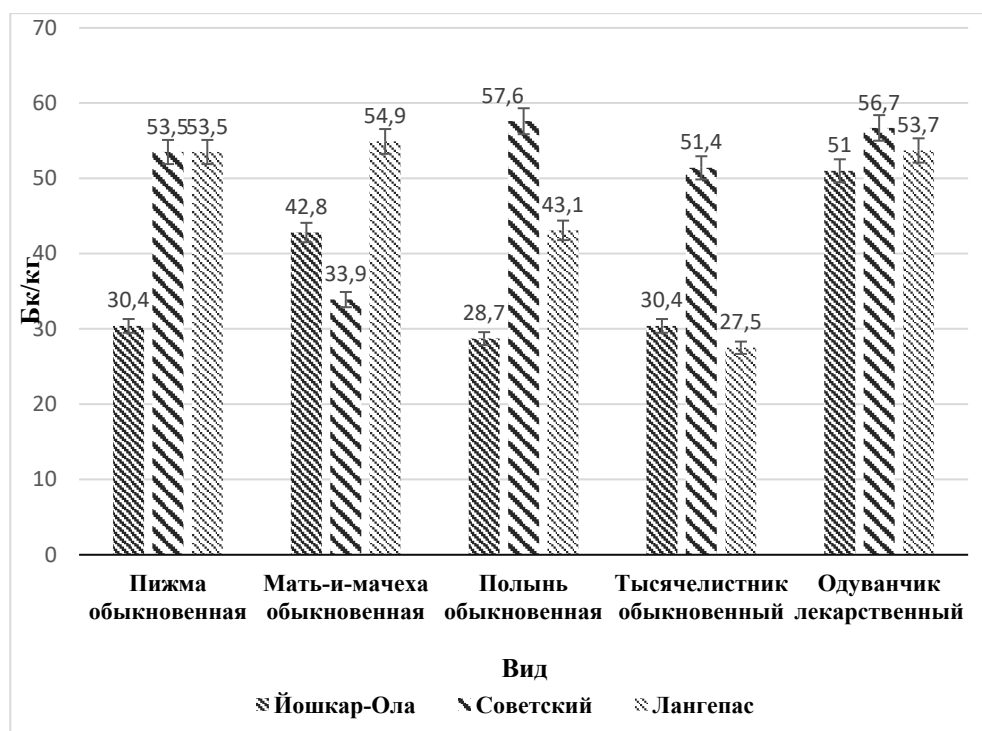


Рис. 5. Содержание ^{90}Sr в листьях растений семейства Астровые в пунктах исследования (г. Йошкар-Ола, п. Советский, г. Лангепас)

Среди видов растений, произрастающих на территории г. Лангепас, наибольшее количество стронция обнаружено у мать-и-мачехи (54,9 Бк/кг), что по сравнению с растением, произрастающим в п. Советский выше в 1,6 раза. Высокое содержание ^{90}Sr также отмечено в листьях одуванчика лекарственного (53,7 Бк/кг) и пижмы обыкновенной (53,5 Бк/кг). В листьях тысячелистника обыкновенного обнаружено наименьшее количество стронция – 27,5 Бк/кг, что в 1,8 раза меньше по сравнению с растением, произрастающим в п. Советский.

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа было выявлено, что на содержание стронция-90 влияют оба фактора: вид растения ($p < 0,001$) и район исследования ($p < 0,001$) (рис. 6).

На основании проведенной работы по выявлению суммарного содержания природного и техногенного ^{40}K в листьях растений семейства Астровые можно составить следующий ряд уменьшения концентрации ^{40}K : пижма обыкновенная – полынь обыкновенная – мать-и-мачеха – тысячелистник обыкновенный – одуванчик лекарственный.

По суммарному содержанию природного и техногенного ^{137}Cs получился следующий ряд уменьшения концентрации: мать-и-мачеха – пижма обыкновенная – полынь обыкновенная – тысячелистник обыкновенный – одуванчик лекарственный.

По суммарному количеству природного и техногенного ^{90}Sr в листьях изученных видов можно составить ряд уменьшения концентрации: одуванчик лекарственный – пижма обыкновенная – мать-и-мачеха – полынь обыкновенная – тысячелистник обыкновенный.

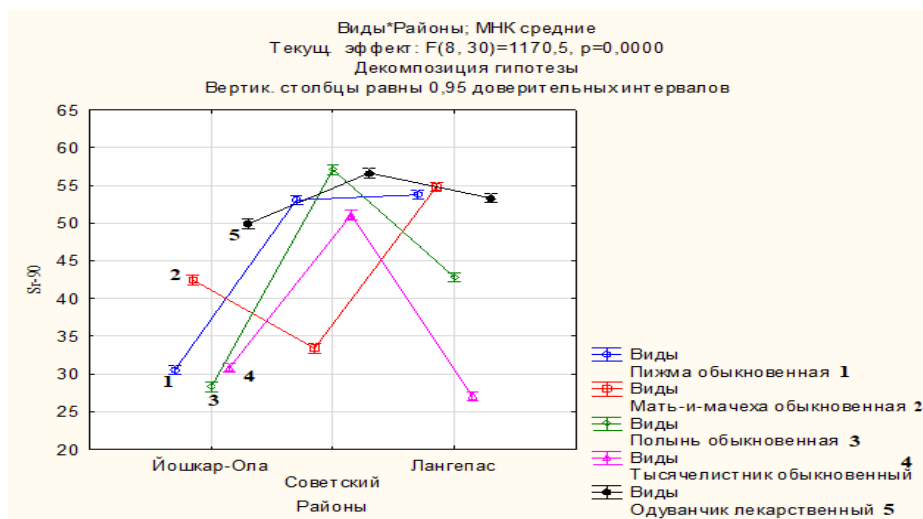


Рис. 6. Двухфакторный дисперсионный анализ содержания ^{90}Sr в листьях исследованных видов семейства Астровые

Отметим, что небольшое накопление природных и техногенных радионуклидов во всех районах исследований было обнаружено в листьях тысячелистника обыкновенного. Среди изученных видов семейства Астровые минимальное количество ^{40}K и ^{137}Cs накапливается в листьях одуванчика лекарственного.

Заключение

В результате исследований было показано распределение радиоактивных элементов в листьях травянистых растений семейства Астровые, произрастающих в различных местообитаниях.

Наибольшее количество ^{40}K обнаружено у пижмы обыкновенной и полыни обыкновенной, произрастающих на территории п. Советский. Высокое содержание ^{40}K зафиксировано и у мать-и-мачехи в г. Лангепас.

Растения на территории г. Йошкар-Олы аккумулируют радиоактивный ^{137}Cs больше, чем в других пунктах исследования. Наибольшее содержание цезия-137 обнаружено в листьях пижмы обыкновенной.

Растения, произрастающие в п. Советский, активнее накапливали ^{90}Sr .

Несмотря на вариабельность, максимальные значения рассмотренных радионуклидов не выходили за пределы допустимых концентраций.

Уровни накопления радионуклидов природного, а также техногенного происхождения изученными видами обусловлены поступлением их из почвы, а также из атмосферного воздуха.

Список литературы

1. Гончаров Е. А., Пигалин Д. И. Распределение техногенных и естественных радионуклидов в лесных экосистемах заповедника «Большая Кокшага» // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 4. С. 76–87.
2. Воскресенский В. С. Изучение содержания радионуклидов в почвах городских и природных территорий // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер.: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2008. № 3. С. 12–19.

3. Воскресенский В. С., Воскресенская О. Л. Влияние факторов городской среды на функциональное состояние древесных растений : монография. Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, 2011. 195 с.
4. Цыбулько Н. Н., Черныш А. Ф. Горизонтальная миграция радионуклидов в эрозионных агроландшафтах // Проблемы радиологии загрязненных территорий : юбилейный тематический сборник РНИУП «Институт радиологии». Гомель, 2006. Вып. 2. С. 348.
5. Егорова И. А., Кислицина Ю. В., Пузанов А. В. Особенности накопления радионуклидов в растениях северо-западного Алтая // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009. № 11. С. 32–38.
6. Кайгородов Р. В. Биогенная аккумуляция радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr растениями экосистем поймы р. Тобол // Успехи современного естествознания. 2020. № 12. С. 80–84.
7. Болдырев В. В., Водолазко А. Н. Радионуклиды стронций-90 и цезий-137 в пахотном слое почв сухостепной зоны Волгоградской области // Научно-практические пути повышения экологической устойчивости и социально-экономического обеспечения сельскохозяйственного производства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году экологии в России (с. Солёное Займище, 18–19 мая 2017 г.) / сост. Н. А. Щербакова, А. П. Селиверстова. Солёное Займище : Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, 2017. С. 475–478.
8. Руководство по работе с приборами радиационного контроля / сост. В. Л. Гурачевский, И. С. Леонович, И. Г. Хоровец. 2-е изд. Минск : Институт радиологии, 2015. 108 с.
9. Калий-40 в растениях природных экосистем и его роль в жизнедеятельности растительных организмов. URL: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/40/044/40044865.pdf
10. Воскресенская О. Л., Леухин А. В., Сазонов А. Р., Воскресенский В. С. Накопление и распределение радионуклидов в органах туи западной, произрастающей в условиях городской среды // Вестник Марийского государственного университета. 2012. Вып. 8. С. 39–42.
11. Бахвалов А. В., Лаврентьева Г. В., Сынзыныс Б. И. Биогеохимическое поведение ^{90}Sr в наземных и водных экосистемах // Биосфера. 2012. Т. 4, № 2. С. 206–216.

References

1. Goncharov E.A., Pigalin D.I. Distribution of technogenic and natural radionuclides in the forest ecosystems of the Bolshaya Kokshaga reserve. *Vestnik Po-volzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie = Bulletin of Volga State University of Technology. Series: Ecology. Tature management.* 2013;(4):76–87. (In Russ.)
2. Voskresenskiy V.S. Study of radionuclides content in soils of urban and natural areas. *Vestnik Rossiyskogo univesiteta druzhby narodov. Ser.: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti = Bulletin of RUDN. Series: Ecology and life safety.* 2008;(3):12–19. (In Russ.)
3. Voskresenskiy V.S., Voskresenskaya O.L. *Vliyanie faktorov gorodskoy sredy na funktsional'noe sostoyanie drevesnykh rasteniy: monografiya = Effect of urban environmental factors on the functional state of woody plants: monograph.* Yoshkar-Ola: Mar. gos. un-t, 2011:195. (In Russ.)
4. Tsybul'ko N.N., Chernysh A.F. Horizontal migration of radionuclides in erosive agricultural landscapes. *Problemy radiologii zagryaznennykh territoriy: yubileynyy tematicheskiiy sbornik RNIUP «Institut radiologii» = Problems of radiology of contaminated territories: anniversary themed collection of the Republican Research Unitary Enterprise "Institute radiology".* Gomel', 2006;(2):348. (In Russ.)

5. Egorova I.A., Kislitsina Yu.V., Puzanov A.V. Features of the accumulation of radionuclides in plants of the northwestern Altai. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agrarian University*. 2009;(11):32–38. (In Russ.)
6. Kaygorodov R.V. Biogenic accumulation of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr by plants of ecosystems of the river Tobol. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Successes of modern natural science*. 2020;(12):80–84. (In Russ.)
7. Boldyrev V.V., Vodolazko A.N. Radionuclides of ^{90}Sr and ^{137}Cs in the arable layer of soils of the dry steppe zone of Volgograd region. *Nauchno-prakticheskie puti povysheniya ekologicheskoy ustoychivosti i sotsial'no-ekonomicheskoe obespechenie sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. godu ekologii v Rossii (s. Solenoe Zaymishche, 18–19 maya 2017 g.) = Scientific and practical ways to improve environmental sustainability and socio-economic support of agricultural production: proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the Year of Ecology in Russia (May 18–19, 2017, Solenoye Zaymishche)*. Comp. by N.A. Shcherbakova, A.P. Seliverstova. Solenoe Zaymishche: Prikaspiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut aridnogo zemledeliya, 2017:475–478. (In Russ.)
8. Gurachevskiy V.L., Leonovich I.S., Khorovets I.G. (comps.). *Rukovodstvo po rabote s priborami radiatsionnogo kontrolya. 2-e izd = Guidelines for working with radiation monitoring devices. The 2nd edition*. Minsk: Institut radiologii, 2015:108. (In Russ.)
9. Kaliy-40 v rasteniyakh prirodnikh ekosistem i ego rol' v zhiznedeyatel'nosti rastitel'nykh organizmov = ^{40}K in plants of natural ecosystems and its role in the vital activity of plant organisms. (In Russ.). Available at: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/40/044/40044865.pdf
10. Voskresenskaya O.L., Leukhin A.V., Sazonov A.R., Voskresenskiy V.S. Accumulation and distribution of radionuclides in the organs of western arborvitae growing in an urban environment. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Mari State University*. 2012;(8):39–42. (In Russ.)
11. Bakhvalov A.V., Lavrent'eva G.V., Synzynys B.I. Biogeochemical behavior of ^{90}Sr in terrestrial and aquatic ecosystems. *Biosfera = Biosphere*. 2012;4(2):206–216. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Артур Валерьевич Дрангой

аспирант, Институт естественных наук и фармации, Марийский государственный университет (Россия, г. Йошкар-Ола, площадь Ленина, 1)

E-mail: ichigo.lotos@mail.ru

Artur V. Drangoy

Postgraduate student, Institute of Natural Sciences and Pharmacy, Mari State University (1 Lenina square, Yoshkar-Ola, Russia)

Ольга Леонидовна Воскресенская

доктор биологических наук, профессор, директор Института естественных наук и фармации, Марийский государственный университет (Россия, г. Йошкар-Ола, площадь Ленина, 1)

E-mail: voskres2006@rambler.ru

Ol'ga L. Voskresenskaya

Doctor of biological sciences, professor, director of the Institute of Natural Sciences and Pharmacy, Mari State University (1 Lenina square, Yoshkar-Ola, Russia)

***Владимир Станиславович
Воскресенский***

кандидат биологических наук, доцент,
доцент кафедры экологии, Институт
естественных наук и фармации,
Марийский государственный
университет (Россия, г. Йошкар-Ола,
площадь Ленина, 1)

E-mail: woron6960@gmail.com

Vladimir S. Voskresenskiy

Candidate of biological sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of ecology, Institute
of Natural Sciences and Pharmacy,
Mari State University (1 Lenina square,
Yoshkar-Ola, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 10.04.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 15.05.2023

Принята к публикации / Accepted 18.06.2023