

Генотоксические ксенобиотики в околородных экосистемах

Е. Ю. Иванова ✉

Воронежский государственный университет, Российская Федерация
(394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1)

Аннотация: Цель: проанализировать накопление генотоксических соединений в отдельных компонентах околородных экосистем вдоль участка реки Воронеж и в средней зоне Воронежского водохранилища.

Материалы и методы. Отбирали пробы почвы, растений (*Phleum pretense* L.) и (*Matricaria perforate* Merat.), а также растительных насекомых сем. Прямокрылые (*Orthoptera*). Усредненные пробы каждого образца экстрагировали системой растворителей (гексан:ацетон) и далее подготавливали к использованию в тесте Эймса по стандартной методике. Исследования в тесте Эймса проводили на двух штаммах сальмонеллы TA 98 и TA 100, выявляющих разные типы мутаций.

Результаты и обсуждение. Отмечено накопление прямых мутагенных соединений, вызывающих мутации типа сдвига рамки считывания. Наиболее активно подобные соединения накапливает почва. В точках отбора проб вдоль водохранилища отмечены мутагенные эффекты в растениях. Накопление генотоксических соединений в тканях насекомых отмечено в двух точках, где другие исследованные компоненты околородной экосистемы не проявили мутагенного эффекта.

Заключение. Почвы аккумулируют генотоксические соединения наиболее активно. Однако, почва способна не только накапливать ксенобиотики, но и препятствовать их дальнейшей миграции, что выявлено и в нашем исследовании. Только в одной трети экстрактов растений, собранных на загрязненных почвах, удалось зафиксировать мутагенную активность.

Ключевые слова: аккумуляция, мутагены, тест Эймса, вода, водоросли, донный грунт, почва, растения, насекомые.

Источник финансирования: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-05-0077.

Для цитирования: Иванова Е. Ю. Генотоксические ксенобиотики в околородных экосистемах // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология, 2021, № 3, с. 85-90. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.3/3605>

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы усилилась техногенная нагрузка на окружающую среду. В связи с этим большое внимание уделяется изучению влияния человека и его деятельности на все аспекты функционирования биосферы. Одним из приоритетных направлений исследований является изучение загрязнения гидросферы. Гидросфера, наряду с атмосферой и почвенным покровом, является «первичным резервуаром» поступления загрязнителей, а также – средой обитания многочисленных гидробионтов, способных аккумулировать ксенобиотики непосредственно из воды.

Многие органические соединения антропогенного происхождения обладают генотоксическим действием. Они способны вызывать в клетках мутагенные, канцерогенные и тератогенные изменения генетического аппарата. Эти соединения могут отрицательно воздействовать на организм, присутствуя в среде даже в ничтожно малых концентрациях. Ксенобиотики обладают способностью концентрироваться в пищевых цепях, аккумулируясь в высших звеньях.

Средняя часть Воронежского водохранилища расположена в центре миллионного города. Оно относится к водным экосистемам значительно модифи-

© Иванова Е. Ю., 2021

✉ Иванова Екатерина Юрьевна, e-mail: ivanova.vsu@gmail.com



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

цированным влиянием человеческой деятельности. Акватория водохранилища принимает сточные воды города, неочищенный ливневый сток, а также недоочищенные сточные воды очистных сооружений.

Околоводные экосистемы аккумулируют загрязнители непосредственно из воды, но также из воздуха с атмосферными осадками и в результате значительной рекреационной нагрузки. Генотоксические соединения часто обладают гидрофобностью и плохо вымываются из почвы, но активно накапливаются в пищевых цепях.

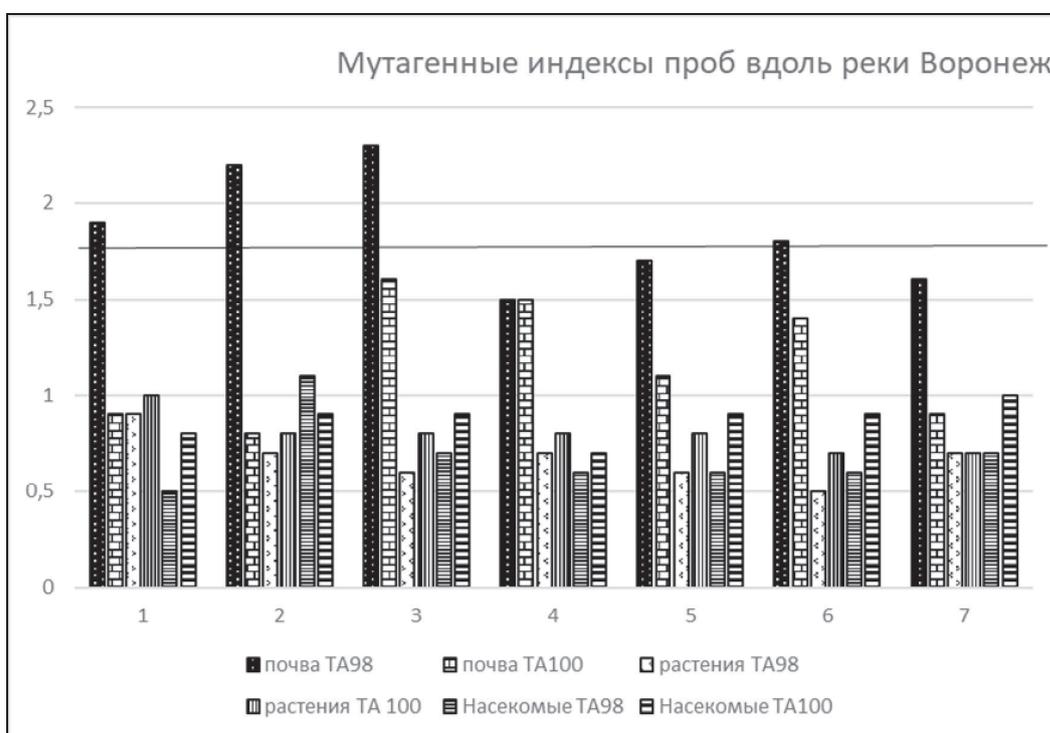
В почвах под воздействием микроорганизмов и ферментов протекает биотрансформация мутагенных соединений. Изучение этих реакций в почвах затруднено крайней гетерогенностью среды и адсорбцией ксенобиотиков, микроорганизмов и ферментов на частицах и коллоидах почв.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования накопления генотоксических ксенобиотиков в почвах околоводных экосистем были отобраны пробы в 15 точках вдоль берегов Воронежского водохранилища и семи точках – вдоль реки Воронеж выше верхнего бьефа водоема. Пробы отбирались с глубины 15 см методом

«конверта». Для исследования перераспределения и миграции ксенобиотиков в пищевых цепях отбирали также пробы двух видов растений (Тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.) и Трехреберник непахучий (*Tripleurospermum inodorum*)), а также растительоядных насекомых семейства Прямокрылые (*Orthoptera*). Усредненные пробы каждого образца экстрагировали системой растворителей (гексан:ацетон) и далее подготавливали к использованию в тесте Эймса по стандартной методике. Исследования в тесте Эймса проводили на двух штаммах сальмонеллы TA 98 и TA 100, выявляющих разные типы мутаций [3]. Апробация метода проводили на территории Алтайского края [4].

В дальнейшем для облегчения оценки результатов опытов величины будут даны в виде отношения числа his⁺-ревертантов колоний сальмонеллы, выросших в присутствии исследуемой пробы, к таковым в условиях растворителя (опыт/ДМСО). Если значение отношения приближается к 2 (1,7-2,0), то мутагенный эффект считается слабым. В случае превышения отношения опыта к контролю в 10 раз имеется мутагенный эффект средней выраженности и при увеличении в 100 и более раз – сильный мутагенный эффект [3, 5].



Mutagenic indices of samples along the Voronezh River

Рис. 1. Генотоксическая активность экстрактов почвы, растений и насекомых околоводной экосистемы реки Воронеж, выявляемая в тесте Эймса сальмонелла/микросомы
 [Fig. 1. Genotoxic activity of soil, plant and insect extracts from the near-water ecosystem of the Voronezh River, detectable in the Ames Salmonella/microsome test]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты приведены на рисунках 1 и 2.

Среди исследованных образцов наибольшую активность в тесте Эймса сальмонелла/микросомы проявили пробы почвы, причем, в основном, на одном штамме TA 98, выявляющим мутации типа сдвига рамки считывания. Этот штамм сальмонеллы традиционно является наиболее информативным.

Мутагенные индексы, приведенные на рисунке 1, не превышают значения 2,4, т.е. мы можем говорить о слабом мутагенном эффекте [3].

Генотоксические соединения различной природы, попав в почву, распределяются в почвенном горизонте неравномерно. В поверхностных слоях в основном накапливаются гидрофобные соединения, а гидрофильные мигрируют в более глубокие слои. Тот факт, что обнаруженная в тесте Эймса прямая мутагенная активность, обычно связываемая с гидрофильными соединениями, накапливается по всему почвенному профилю, может свидетельствовать о зашлакованности и обезвоженности почв в большинстве исследованных точек.

Характерно, что загрязнение почв околородных экосистем примерно одинаково как вдоль Воронежского водохранилища в черте города, так

и по берегам реки Воронеж выше по течению. В то же время вода и донный грунт в тех же точках водохранилища загрязнены значительно сильнее, чем в реке, причем загрязненность возрастает по направлению течения [3]. Очевидно, это свидетельствует о том, что загрязнение почвы околородных экосистем не связано со степенью загрязненности воды, а имеет иное происхождение. Как в наземных, так и в водных экосистемах растения являются первым звеном пищевых цепей, активно аккумулируя ксенобиотики из почвы и воздуха. Однако, в нашем исследовании растения проявляют значительно меньшую активность в тесте Эймса, по сравнению с почвой.

Вдоль реки Воронеж в отобранных растениях совсем не было зафиксировано генотоксической активности, а экстракты растений, отобранных вдоль Воронежского водохранилища, проявили мутагенные эффекты в 30% образцов. Поскольку далеко не во всех случаях можно проследить совпадение мутагенной активности почвы и растений на ней произрастающих, то следует предположить, что ксенобиотики, накопленные растениями, имеют другое происхождение. Многие органические соединения способны проникать в растение через липидные компоненты кутику-



Mutagenic indices of samples along the Voronezh reservoir

Рис. 2. Генотоксическая активность экстрактов почвы, растений и насекомых околородной экосистемы Воронежского водохранилища, выявляемая в тесте Эймса сальмонелла/микросомы
 [Fig. 2. Genotoxic activity of soil, plant and insect extracts from the near-water ecosystem of the Voronezh Reservoir, detectable in the Ames Salmonella/microsome test]

лы листовой поверхности, суммарная площадь которой в 40 раз превышает площадь земли, занимаемой растением. Таким образом, растения могут накапливать из воздуха вещества как «локального» происхождения, так и из отдаленных источников.

Травоядные насекомые являются следующим звеном пищевой цепи, но в нашем исследовании они слабо аккумулируют генотоксические соединения. Кроме того, не обнаруживают соответствия проявленных в тесте Эймса эффектов ни с растениями, ни с почвой. Следовательно, они способны к активной биомагнификации отдельных групп соединений, даже присутствующих в среде в незначительных количествах. Качественный характер аккумуляции мутагенных ксенобиотиков в растениях может отличаться от такового в почве. Одним из наиболее вероятных загрязнителей околородных экосистем Воронежского водохранилища, расположенного в черте города, могут быть проходящие здесь автомагистрали со значительной транспортной нагрузкой. Это также объясняет меньшую загрязненность растений, расположенных за чертой города вдоль реки Воронеж.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги необходимо отметить, что именно почвы аккумулируют генотоксические соединения наиболее активно. Однако, почва способна не только накапливать ксенобиотики, но и препятствовать их дальнейшей миграции, что выявлено и в нашем исследовании: только в одной трети экстрактов растений, собранных на загрязненных почвах, удалось зафиксировать мутагенную активность. Причем мутагенные индексы экстрактов растений были ниже, чем мутагенные индексы экстрактов почвы в тех же точках. Можно предположить, что большая часть генотоксических ксенобиотиков, аккумулированных почвой, находится в форме соединений, недоступных для усвоения растениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдаров З. А. Биосфера города Бишкек и репродуктивное здоровье населения // *Здравоохранение Кыргызстана*, 2009, № 2, с. 9-11.
 2. Егорова Т. А., Клунова С. М., Живухина Е. А. *Основы биотехнологии: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Биология"*. Москва: Академия, 2008. 207 с.
 3. Иванова Е. Ю. Аккумуляция генотоксических соединений некоторыми компонентами водных и прибрежных экосистем Воронежского водохранилища // *Региональные геосистемы*, 2020, т. 44, № 1, с. 113-120.
 4. Иванова Е. Ю. Анализ аккумуляции генотоксических соединений отдельными компонентами биогеоценозов четырех административных районов Алтайского края // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология*, 2019, № 3, с. 50-54. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2019.3/2323>
 5. Траоре В., Степанова Л. И., Котелевцев С. В., Полякова О. В., Козлов Ю. П. Биотестирование мутагенных ксенобиотиков в тканях байкальской нерпы // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*, 2000, № 4, с. 5-8.
 6. Фонштейн Л. М., Калинина Л. М., Полухина П. П. [и др.]. Тест-система для оценки загрязненности среды на сальмонелле. (Методические указания). Москва, 1977. 107 с.
 7. Ames B. N., Cann J. M., Jamasaki E. Method for detecting carcinogens and mutagens with the salmonella. Mammalian microsomes mutagenicity test // *Mutation Research*, 1975, v. 31, pp. 347-364.
 8. Ames B. N., Durston W., Jamasaki E., Lee F. Carcinogens are mutagens: a simple test-system combining liver homogenates for activation and bacteria for detection // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 1973, vol. 70 (8), pp. 2281-2285.
 9. Kotelevtsev S. V., Stepanova L. I., Glazer V. M. Biomonitoring of Genotoxicity in Coastal Waters. In book "Biomonitoring of coastal waters and estuaries" (ed. by Kees J. M. Kramer) // *CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo*, 1994, chapter 10, p. 227-245.
- Конфликт интересов:** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 26.05.2021

Принята к публикации 03.09.2021

Genotoxic Xenobiotics in Near-Water Ecosystems

E. Yu. Ivanova ✉

Voronezh state University, Russian Federation
(1, Universitetskaya Pl., Voronezh, 394018)

Abstract: *Objective:* To analyze the accumulation of genotoxic compounds in selected components of near-water ecosystems along the Voronezh River section and in the middle zone of the Voronezh Reservoir.

Materials and methods. Soil, plants (*Phleum pretense* L.) and (*Matricaria perforate* Merat.) samples, as well as herbivorous insects of the family Hiptera (*Ortoptera*) samples were collected. Averaged samples were extracted with a solvent system (hexane: acetone) and then prepared for use in the Ames test according to standard procedures. The Ames test was performed on two strains of Salmonella TA 98 and TA 100, detecting different types of mutations.

Results and discussion. An accumulation of direct mutagenic compounds, causing frameshift mutations, was observed. Such compounds most actively accumulate in soil. In points of sampling along reservoir the mutagenic effects in plants have been noted. Accumulation of genotoxic compounds in tissues of insects was noted in two points, where other studied components of water-related ecosystem did not show the mutagenic effect.

Conclusion. Soils accumulate genotoxic compounds most actively. However, soil is capable not only to accumulate xenobiotics, but also to prevent their further migration, which was revealed in our study as well. Only one third of plant extracts collected from contaminated soils managed to fix mutagenic activity.

Key words: accumulation, mutagens, Ames test, water, algae, bottom soil, soil, plants, insects.

Source of funding: The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project № 20-05-0077.

For citation: Ivanova E. Yu. Genotoxic Xenobiotics in Near-Water Ecosystems // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2021, no. 3, p. 85-90. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.3/3605>

REFERENCES

1. Aydarov Z.A. Biosfera goroda Bishkek i reproduktivnoe zdorov'e naseleniya [Biosphere of Bishkek city and reproductive health of the population]. *Zdravookhranenie Kyrgyzstana*, 2009, no. 2, pp. 9-11. (In Russ.)
2. Egorova T.A., Klunova S.M., Zhivukhina E.A. *Osnovy biotekhnologii: ucheb. posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchikhsya po spetsial'nosti "Biologiya"* [Fundamentals of biotechnology: textbook. manual for students of higher educational institutions studying in the specialty "Biology"]. Moscow: Akademiya, 2008. 207 p. (In Russ.)
3. Ivanova E. Yu. Akkumulyatsiya genotoksicheskikh soedineniy nekotorymi komponentami vodnykh i pribrezhnykh ekosistem Voronezhskogo vodokhranilishcha [Accumulation of genotoxic compounds by some components of aquatic and coastal ecosystems of the Voronezh reservoir]. *Regional'nye geosistemy*, 2020, v. 44, no. 1, pp. 113-120. (In Russ.)
4. Ivanova E. Yu. Analiz akkumulyatsii genotoksicheskikh soedineniy otdel'nymi komponentami biogeotsenozov chetyrekh administrativnykh rayonov Altayskogo kraja [Analysis of the accumulation of genotoxic compounds by individual components of biogeocenoses in four administrative districts of the Altai Territory]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria Geografia. Geoekologia*, 2019, no. 3, pp. 50-54. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2019.3/2323> (In Russ.)
5. Traore V., Stepanova L.I., Kotelevtsev S.V., Polyakova O.V., Kozlov Yu.P. Biotestirovanie mutagennykh ksenobiotikov v tkanyakh baykal'skoy nerpy [Biotesting of mutagenic xenobiotics in the tissues of the Baikal seal]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2000, no. 4, pp. 5-8. (In Russ.)
6. Fonshteyn L.M., Kalinina L.M., Polukhina P.P. [i dr.]. *Test-sistema dlya otsenki zagryaznennosti sredy na sal'monelle. (Metodicheskie ukazaniya)* [Test system for as-

© Ivanova E. Yu., 2021

✉ Ekaterina Yu. Ivanova, e-mail: ivanova.vsu@gmail.com



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

sessing environmental pollution for Salmonella. (Methodical instructions)]. Moscow, 1977. 107 p. (In Russ.)

7. Ames B.N., Cann J.M., Jamasaki E. Method for detecting carcinogens and mutagens with the salmonella. Mammalian microsomes mutagenicity test. *Mutation Research*, 1975, v. 31, pp. 347-364.

8. Ames B.N., Durston W., Jamasaki E., Lee F. Carcinogens are mutagens: a simple test-system combining liver homogenates for activation and bacteria for detection. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 1973, vol. 70 (8), pp. 2281-2285.

Иванова Екатерина Юрьевна

кандидат биологических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-4078-9512), e-mail: ivanova.vsu@gmail.com

9. Kotelevtsev S.V., Stepanova L.I., Glazer V.M. Biomonitoring of Genotoxicity in Coastal Waters. In book "Biomonitoring of coastal waters and estuaries" (ed. by Kees J.M. Kramer). CRC Press, Boca Raton, Ann Arbon, London, Tokyo, 1994, chapter 10, p. 227-245.

Conflict of interest: The author declares no obvious and potential conflicts of interest to the publication of this article.

Received: 26.05.2021

Accepted: 03.09.2021

Ekaterina Yu. Ivanova

Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: (0000-0003-4078-9512), e-mail: ivanova.vsu@gmail.com