

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-3-1144

EDN: AENSQR

УДК 574.2 (574.4)



Научная статья

О ДИАГНОСТИКЕ БИОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ АДВЕНТИВНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ В НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ РОССИИ

*Л.А. Земскова, М.В. Авраменко,
Е.В. Ноздрачева, О.Н. Чиграй*

Аннотация

Обоснование. Внимание исследователей к адвентивным видам, многие из которых имеют статус инвазивных, неслучаен, так как мощный процесс адвентизации в глобальном масштабе снижает элементы биологического разнообразия, изменяет свойства биотопа сообществ, вызывает почвоутомление, увеличивает эколого-экономические издержки при расчёте средообразующей функции и вызывает необходимость ремедиационных мероприятий. Отечественные и зарубежные авторы изучают особенности адвентов для выявления особенностей флорогенеза, для производства из биомассы инвазивных видов сорбентов различного спектра действия, а также для выявления особенностей эколого-биохимических и эколого-биохимических воздействий на неорганические компоненты сообществ и разработки плана действий по реабилитации, ограничению численности ценопопуляций. Для Брянской области как административного центра Нечерноземья России актуально создание биомониторинговой базы эколого-биохимической и аллелопатической активности адвентов.

Цель исследования – обобщить данные по аллелопатической и эколого-биохимической активности адвентивных видов в местообитаниях Брянской области для начальных этапов создания базы биомониторинга.

Методы и методики исследования. Исследования проводились для 8 видов адвентов как дополнения к уже имеющимся эколого-фитоценологическим исследованиям. Сообщества адвентов исследовались в естественных границах с применением геоботанического, весового метода, почвенно-экологических методов и приёмов изысканий. В камеральных условиях устанавливались особенности аллелопатического влияния методом фитотоксичности; с применением лабораторно-химических методов выявлялась активность уреазы,

каталазы и целлюлазы для установления особенностей преобразования почв при экспансии адвентов.

Результаты исследования. В полевых условиях выяснено, что наибольшую биомассу развивают виды *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. Et Gray, *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Helianthus tuberosus* L., *Rudbeckia hirta* L.; определяемые размерами, наибольшие плотности размещения особей адвентов выявлены для *Xanthoxalis stricta* (L.) Small, *Erigeron annuus* (L.) Pers., *Oenothera biennis* L. Установление фитотоксичности показало, что в наибольшей степени угнетает прорастание семян биотестера почвенная вытяжка в местах распространения видов: *Echinocystis lobata*, *Rudbeckia hirta*, *Aster salignus* Willd., *Helianthus tuberosus*; наименьший прирост корней биотестера к контролю зарегистрирован в вытяжке почвы для тех же видов. Наименьшая фитотоксичность выявлена в почве для вида *Oenothera biennis*, наибольшая – для *Echinocystis lobata*, *Rudbeckia hirta*, *Aster salignus*, *Helianthus tuberosus*. Установлены видовые особенности адвентивных видов, воздействующих на динамику энзимов в почве. Ферментативная активность уреазы наиболее показательна для почвы под *Lupinus polyphyllus*, *Xanthoxalis stricta*, *Erigeron annuus*, *Oenothera biennis*. Каталазная активность в наибольшей степени выявлена для почв с произрастанием сообществ из *Erigeron annuus*, *Oenothera biennis*, минимальные показатели – *Rudbeckia hirta*, *Aster salignus*. Значительное число микроорганизмов формируется в почвах под ценопопуляциями *Lupinus polyphyllus*, *Xanthoxalis stricta*; минимальное разложение целлюлозы зарегистрировано для *Echinocystis lobata* и *Helianthus tuberosus*. По уреазной, каталазной и целлюлоазной активности почвы под адвентивными видами отнесены к классу «среднеобогатённых».

Заключение. Проведённые исследования подтвердили гипотезу возможного использования адвентивными видами воздействия на аборигенные виды корневых аллелопатических выделений: все вещества продуцируются адвентами в соответствии с видовыми особенностями. Наибольшее почвоутомление вызывает поселение в местообитаниях *Echinocystis lobata*, *Rudbeckia hirta*, *Aster salignus*, *Helianthus tuberosus*, что обуславливает необходимость масштабной и глубокой ремедиации почв химическими, агротехническими или биологическими путями. В исследованиях зарегистрированы повышенные, по сравнению с естественными луговыми местообитаниями, данные по энзимной активности. Стимуляция активности оксидоредуктаз, гидролаз также является видовым признаком растений, хотя каталазная активность практически одинакова для изученных видов. Возрастание скорости разложения целлюлозы, зарегистрированное и в зарубежных исследованиях, обусловлено некоторым стиму-

лированием бактериального разнообразия, видимо, специфичным для адвентов. Внедрение адвентивных видов в естественные сообщества воздействуют на скорость и интенсивность биогеохимических циклов. В прикладном отношении изученные закономерности рекомендуют для планирования мероприятий по механическому удалению адвентов из сообществ; также важно конструировать комбинированные микробные препараты для биотехнологической ремедиации субстратов, предполагающей коренное преобразование микробиоты.

Ключевые слова: адвентивные виды; аллелопатическое воздействие; эколого-биохимические изменения; ремедиация; Брянская область

Для цитирования. Земскова, Л. А., Авраменко, М. В., Ноздрачева, Е. В., & Чиграй, О. Н. (2025). О диагностике биохимической активности адвентивных видов растений в Нечерноземье России. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(3), 90-112. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1144>

Original article

ON THE DIAGNOSTICS OF BIOCHEMICAL ACTIVITY OF ALIEN PLANT SPECIES IN THE NON-BLACK EARTH REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION

*L.A. Zemskova, M.V. Avramenko,
E.V. Nozdracheva, O.N. Chigrai*

Abstract

Background. The attention of researchers to adventive species, many of which have the status of invasive, is not accidental, since a powerful adventization process on a global scale reduces the elements of biological diversity, changes the properties of the community biotope, causes soil fatigue, increases the ecological and economic costs when calculating the environment-forming function and necessitates remediation measures. Domestic and foreign authors study the features of advents to identify the features of florogenesis, to produce sorbents of various action spectra from the biomass of invasive species, as well as to identify the features of ecological-biological and ecological-biochemical effects on inorganic components of communities and to develop an action plan for rehabilitation, limiting the number of coenopopulations. For the Bryansk region as the administrative center of the Non-Black Earth Region of the Russian Federation, the creation of a biomonitoring base for the ecological-biochemical and allelopathic activity of advents is relevant.

The **aim** of the work is to summarize the data on the allelopathic and ecological-biochemical activity of adventitious species in the habitats of the Bryansk region for the initial stages of creating a biomonitoring base.

Methods and research techniques. The studies were conducted for 8 adventitious species as a supplement to the existing ecological-phytocenotic studies. Adventitious communities were studied within natural boundaries using the geobotanical, gravimetric method, soil-ecological methods and research techniques. In office conditions, the features of the allelopathic effect were established using the phytotoxicity method; using laboratory chemical methods, the activity of urease, catalase and cellulase was detected to establish the features of soil transformation during the expansion of adventitious species.

Results. In field conditions, it was found that the greatest biomass is developed by the species *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. Et Gray, *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Helianthus tuberosus* L., *Rudbekia hirta* L.; determined by the sizes, the highest densities of placement of adventitious individuals were found for *Xanthoxalis stricta* (L.) Small, *Erigeron annuus* (L.) Pes., *Oenothera biennis* L. The determination of phytotoxicity showed that the soil extract in the areas of distribution of the species *Echinocystis lobata*, *Rudbekia hirta*, *Aster salignus* Willd., *Helianthus tuberosus* inhibits the germination of biotester seeds to the greatest extent; the smallest growth of biotester roots to the control was recorded in the soil extract for the same species. The lowest phytotoxicity was found in the soil for the species *Oenothera biennis*, the highest - for *Echinocystis lobata*, *Rudbekia hirta*, *Aster salignus*, *Helianthus tuberosus*. Species features of adventitious species affecting the dynamics of enzymes in the soil were established. The enzymatic activity of urease is most indicative for the soil under *Lupinus polyphyllus*, *Xanthoxalis stricta*, *Erigeron annuus*, *Oenothera biennis*. Catalase activity was found to the greatest extent for soils with the growth of communities of *Erigeron annuus*, *Oenothera biennis*, the minimum indicators – *Rudbekia hirta*, *Aster salignus*. A significant number of microorganisms are formed in soils under coenopopulations of *Lupinus polyphyllus*, *Xanthoxalis stricta*; minimal cellulose decomposition was recorded for *Echinocystis lobata* and *Helianthus tuberosus*. According to urease, catalase and cellulase activity, the soils under adventitious species are classified as «moderately enriched».

Conclusion. The conducted studies confirmed the hypothesis of possible use of the impact of root allelopathic secretions on native species by adventitious species: all substances are produced by adventites in accordance with species characteristics. The greatest soil fatigue is caused by settlement in habitats of *Echinocystis lobata*, *Rudbekia hirta*, *Aster salignus*, *Helianthus tuberosus*, which necessitates large-

scale and deep soil remediation by chemical, agrotechnical or biological means. The studies recorded increased data on enzymatic activity compared to natural meadow habitats. Stimulation of oxidoreductase and hydrolase activity is also a species-specific feature of plants, although catalase activity is almost the same for the studied species. The increase in the rate of cellulose decomposition, registered in foreign studies, is due to some stimulation of bacterial diversity, apparently specific to adventites. The introduction of adventitious species into natural communities affects the rate and intensity of biogeochemical cycles. In practical terms, the studied patterns are recommended for planning measures for the mechanical removal of adventites from communities; it is also important to design combined microbial preparations for biotechnological remediation of substrates, which involves a radical transformation of the microbiota.

Keywords: adventitious species; allelopathic effect; ecological and biochemical changes; remediation; Bryansk region

For citation. Zemskova, L. A., Avramenko, M. V., Nozdracheva, E. V., & Chigray, O. N. (2025). On the diagnostics of biochemical activity of alien plant species in the Non-Black Earth region of the Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(3), 90-112. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-3-1144>

Введение

Адвентивные виды флоры в любом биогеографическом регионе интересны для научно-прикладных исследований в нескольких направлениях. Во-первых, сравнительные флористические исследования, проводимые как инвентаризационные, дают представления о таксономическом спектре адвентов, необходимых, прежде всего, при выборе стратегий биомониторинговых позиций, прогноза динамики увеличения роли этих видов, а также скорости инвазионного процесса, наносящего эколого-экономический урон [1; 8; 16]. На территории административного центра Нечерноземья России выявлено более 180 видов-адвентов, из них 80 – описаны в статусе инвазивного компонента Н.Н. Панасенко (2021) [8; 10]. Так как Брянская область благодаря уникальности местоположения обладает экотонным эффектом, в урочищах ландшафтов наблюдается повышенное разнообразие адвентивных видов двух ботанико-географических подзон [10]. По регионам России накопились сопоставимые данные о фитоценотической активности и иных биомониторинговых свойствах адвентивных видов, несмотря на то, что с ботанико-экологической точки зрения это понятие имеет некоторую «размытость» границ.

Во-вторых, используя определение «адвентов» как видов, активно натурализирующихся при воздействии антропогенного фактора на территориях, ранее ими не освоенных, отечественные и зарубежные авторы развивают биоэкологическое направление исследований, решающее проблемы биохимической активности адвентивных элементов, диагностики степени изменения компонентов биотопа сообществ, а также мер по ремедиационным мероприятиям почвенной или водной среды [13; 15; 17; 23]. В России предложены представители семейства *Apiaceae*, *Amaranthaceae* для восстановления свойств почв, вод от элементов группы тяжёлых металлов, органических загрязнителей. С начала XXI века признано, что инвазионная часть адвентивных видов сформировалась как важнейший фактор, изменивший глобальную экосреду [16; 19]. Поэтому ограничение численности адвентивных ценопопуляций химическими, агротехническими, биологическими методами получило продолжение необычным способом: производство материалов из биомассы адвентов в новые материалы для защиты окружающей среды. Более двадцати работ посвящены производству биоугля с использованием активной части адвентивных видов – инвазивных растений, что по результатам изысканий эффективно утилизирует отходы, контролирует «экспансию инвазивных растений», восстанавливают среду. Развивается вопрос о производстве из активных адвентов, вторгающихся в агро- и урбоценозы, биосорбентов для удаления токсичных и активных поллютантов. Таким образом, переработка биомассы растений позволяет упростить высокие издержки «биологических вторжений» [24].

В-третьих, в области эколого-биохимических исследований устанавливают показатели аллелопатической активности широко распространённых адвентивных видов, а также динамику изменений содержания биологически активных веществ в почве (деятельностном горизонте) местообитаний, занятых инвазивным компонентом флоры, быстро осваивающих урочища [21; 22; 25; 26]. Эти трудоёмкие исследования, развитие которых связано с новейшими цитогенетическими разработками, обеспечивающими полную характеристику микробиомов почвы, энзимную динамику, равно как и других химически активных веществ, значительно улучшают понимание механизмов влияния адвентов на экологию и биологию почв [12]. Результаты изысканий будут способствовать оптимизации разработке методов реконструкции, восстановления биокосного компонента в сообществах с внедрением адвентивного компонента фитоценоза. Именно длительное воздействие активных адвентивных видов, изменяющее в долгосрочной перспективе и в некоторых случаях необратимо свойства биотопа сообществ,

повлекло за собой комплексные эколого-биохимические изыскания в системе долгосрочного мониторинга, так называемых «долгосрочных экологических исследований – LTER». Зарубежные авторы, активно работая по выявлению значительного числа компонентов общего круговорота веществ со встроенными адвентивными видами, исследовали за прошедшее пятнадцатилетие более 60 видов, внедряющихся в естественные сообщества, получив достаточно разнообразные и противоречивые данные. Подтверждая гипотезу «активной аллелопатии» Т.А. Работнова (1982), исследователи не имеют единой позиции по разнообразию и механизму воздействия на почвенную биоту из микроводорослей, бактериального компонента, сосудистых растений-конкурентов. Авторы отмечали различные по характеру динамические изменения почвенных энзимов, содержание биогенного фосфора, находящихся под воздействием адвентивных видов; выявили возрастающие значения объёмов CO_2 , CH_4 , N_2O на луговых экосистемах, инвазированных многолетними адвентами [14; 24; 27]. Отечественные авторы активно изучают изменение свойств почвы или вод в присутствии потенциально активных и активных адвентивных видов, но не обосновывают единую стратегию последовательного изменения свойств биокосного и косного компонента сообществ. Для исследования регионально-географических особенностей эколого-биохимических воздействий на почвы инвазивного компонента адвентивной флоры Брянской области организованы масштабные исследования, доказавшее широкое использование «биологического оружия» *Vinca minor* L., *Parthenocissus vitacea* (Kner) Hitchc., *Thladiantha dubia* Bunge, изменение биохимии почвенной среды [9; 18]. Достаточно актуальным для староосвоенного региона выступает выявление аллелопатического воздействия, а также стимулирование изменений содержания биологически активных веществ в биокосном компоненте сообществ с активно внедряющимися адвентами. Одна из стратегических задач, которую можно решить в свете прикладного значения выполняемых эколого-биологических изысканий, – предотвращение почвоутомления и усиления реабилитационных мероприятий, восстанавливающих микробиологический и биохимический потенциал субстратов для ведения сельскохозяйственного производства, лесовосстановления, ландшафтно-декоративных работ. Для административного центра Нечерноземья России впервые представлены комплексные характеристики 8 видов адвентов, различающихся по систематическому положению, жизненным формам, стратегиям освоения экотопов. Полученные данные дополнили биомониторинговые показатели для адвентов с инвазивным статусом – единственные для нечернозёмной зоны; по результатам лабораторно-камеральных исследований предложены мероприятия по ремедиации.

Цель исследования – обобщить данные по аллелопатической и эколого-биохимической активности адвентивных видов в местообитаниях Брянской области для начальных этапов создания базы биомониторинга.

Материалы, методы и методики исследований

Для восьми видов адвентивного компонента, проявляющих свойства инвазивных видов, в общей характеристике указывалось таксономическое положение, группы по времени и способу заноса, инвазивный статус по общепринятым сводкам [1; 20]. В полевых условиях визуально устанавливались границы ценопопуляций адвентивных видов (границы сообществ), отмечалось общее проективное покрытие доминирующего вида. На реперных площадках изымалась биомасса видов, измерялась масса сухого вещества на лабораторных весах с точностью до 0,01 г; биомасса устанавливалась как средняя на 1 м².

Для каждого вида в местах произрастания исследовалась аллелопатическая активность и аллелопатические свойства почвы: использовалась общепринятая методика биопроб А.М. Гродзинского, биотестовая методика для установления фитотоксичности почвенных вытяжек по МР 2.1.7.2297-07 [2]. Почвенную вытяжку разбавляли в соотношении 1 : 15. Тест объект – *Raphanus sativus* L., среднюю всхожесть семян биотестера выражали в процентах к соответствующей всхожести в контроле, которую принимали за 100%; определяли число условных кумариновых единиц (UCE) [2].

В полевых условиях производили точечный почвоотбор стерильным ножом по принципу «диагонали» в деятельностном горизонте почвы (0-5 см); готовили среднюю пробу. Нож для придания стерильности перед взятием проб три раза погружали в почву. Число точечных проб соответствовало ГОСТ 28168-89 и общепринятой процедуре пробоподготовки: ГОСТ 28168-89, 1989; ГОСТ 29269-91, 2005; ГОСТ 17.4.4.02-84, 2008. Из пробы почвы готовили водную вытяжку в соотношении 1:10 и анализировали полученный раствор. Для установления аллелопатического воздействия почву отбирали непосредственно под растениями ценопопуляций, контрольными образцами принималась почва, отобранная в сообществе без инвазивных адвентивных видов, вне зоны аллелопатического влияния.

Особенности биохимического состава почв в местах произрастания адвентивных видов с инвазивной активностью устанавливали по ферментам. Выявляли уреазную активность фотометрическим методом, измеряя количество NH₃, выделяющегося при гидролизе мочевины при каталитической активности уреазы. Каталазная активность выявлялась перманганатометрическим методом (по Джонсону и Темпле) [5; 11].

Общая активность микробиоценоза почв выявлялась методом аппликаций – целлюлозолитическая активность – один из достоверных показателей развития и деятельности микроорганизмов. В ходе эксперимента использовалась фильтровальная бумага (квадраты размером 5x5 см). Навески почвы массой 50 г, предварительно освобожденные от растительных остатков, помещали в стерильные чашки Петри, затем субстрат располагали в чашки, придавливали почвой. Почву смачивали до 65 % полной влагоёмкости. Чашки Петри выдерживались 30 суток при постоянной температуре 27-28 °С. Активность почвенных ферментов, целлюлозоразрушающих бактерий оценивали в баллах по шкалам, предложенным Д.Г. Звягинцевым [5]. При статистической обработке использовались стандартными методами [4].

Латинские названия сосудистых растений даны по сводке П.Ф. Маевского (2014) [7].

Результаты исследований и обсуждение

Для эколого-биохимических и фитотоксикологических изысканий учитывались ценопопуляции адвентов, ранее не исследовавшихся в центре Нечерноземья России (таблица 1).

Таблица 1.

Общая характеристика адвентивных видов в районе работ

Систематическая принадлежность	Биолого-экологические и био-географические особенности	Путь распространения в естественные сообщества
1 <i>Echinocystis lobata</i> (Michx.) Torr. Et Gray	Однолетнее, травянистое, кенофит, эргазиофит, агрифит, североамериканский ареал (А)	Нередко культивируется
2 <i>Erigeron annuus</i> (L.) Pes.	Однолетнее, травянистое, агриофит, эпекофит, североамериканский А	Культивировался, одичавшее растение
3 <i>Oenothera biennis</i> L.	Двулетнее, травянистое, кенофит, ксенофит, эпекофит, североамериканский А	Ранее культивировался
4 <i>Lupinus polyphyllus</i> Lindl.	Многолетнее, травянистое, кенофит, эргазиофит, агрифит североамериканский А	Широко культивируется
5 <i>Xanthoxalis stricta</i> (L.) Small	Многолетнее, травянистое, ксенофит, эпекофит, североамериканский А	Культивируется, одичавшее растение
6 <i>Helianthus tuberosus</i> L.	Многолетнее, травянистое, агриофит, эпекофит, североамериканский А	Активно культивируется, дичает

7 <i>Rudbekia hirta</i> L.	Многолетнее, эпекофит, агриофит, кенофит, североамериканский А	Активно культивируется, дичает
8 <i>Aster salignus</i> Willd.	Многолетнее травянистое, Агриофит, эпекофит, североамериканский А	Активно культивируется, дичает

Из восьми видов, активно распространяющихся по естественным сообществам адвентов, два – однолетние, один вид – эхиноцистис – лиана; один – двулетнее растение, внедрившееся в луговые сообщества непосредственно из декоративной культуры, так же как и *Rudbekia hirta*. 50 % видов принадлежит к семейству *Asteraceae*, из них *Aster salignus*, *Helianthus tuberosus*, *Erigeron annuus* проявляют высокую степень инвазивности, их можно отнести к видам-трансформерам.

Сообщества адвентов имели различные количественные показатели биомассы (на 1м²) и число особей растений, установленных на модельной пробной площадке (на 0,5м²); показатели приведены на рисунке.

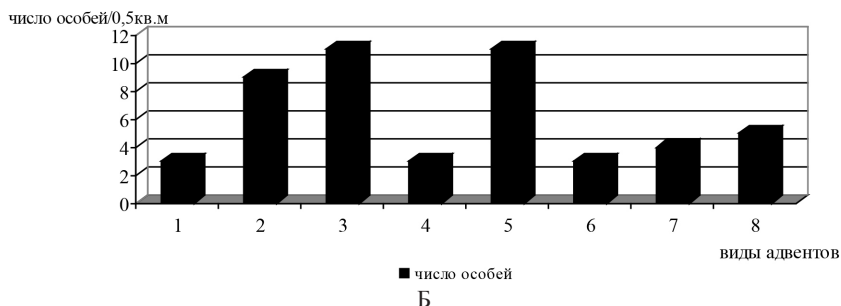
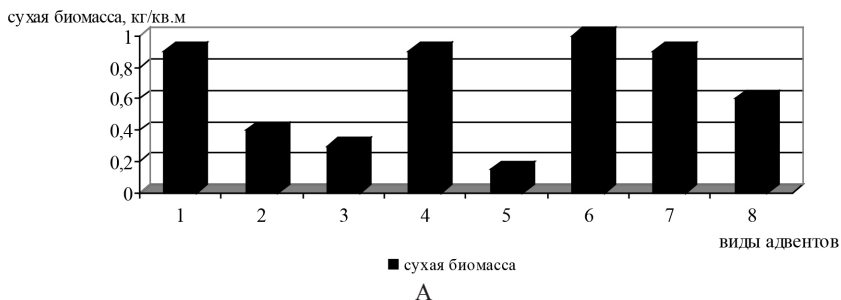


Рис. Показатели биомассы (А) и плотности размещения особей (Б) адвентивных видов на исследуемых реперных точках
Примечание. Виды адвентов соответствуют обозначениям таблицы 1.

Наибольшую биомассу развивают виды *Echinocystis lobata*, *Lupinus polyphyllus*, *Helianthus tuberosus*, *Rudbekia hirta*; определяемые размерами, значительные плотности размещения особей адвентов выявлены для *Xanthoxalis stricta*, *Erigeron annuus*, *Oenothera biennis*.

Все данные по аллелопатии, ферментативной активности, в том числе и целлюлазной, показаны как усреднённые показатели.

При установлении фитотоксичности почвенных вытяжек стимулированных развитием ценопопуляций видов-адвентов получены результаты (таблица 2).

Таблица 2.

Средние данные, иллюстрирующие аллелопатическую активность адвентивных видов

Почва под адвентивными растениями	Показатели биотестера			
	Прорастание семян БТ, % к контролю (M± m)	Прирост корней БТ, % к контролю (M± m)	Индекс J (M± m)	UCE (M± m)
1	<u>30,54±2,1 *</u> 30,20±2,0	<u>12,5±0,9</u> 13,6±0,8	<u>20,8±1,1</u> 20,6±1,0	<u>162,0±7,9</u> 153,6±6,8
2	<u>49,25±2,9</u> 50,72±2,5	<u>49,2±1,3</u> 49,9±1,3	<u>15,3±1,0</u> 14,5±0,9	<u>95,3±4,5</u> 93,1±5,0
3	<u>52,11±2,9</u> 51,63±2,3	<u>52,2±1,7</u> 51,9±1,7	<u>12,9±0,8</u> 11,3±0,8	<u>86,1±4,2</u> 80,5±4,4
4	<u>37,92±2,0</u> 38,17±2,2	<u>44,7±1,5</u> 45,8±1,5	<u>12,7±1,0</u> 12,5±0,9	<u>86,1±4,2</u> 80,5±4,4
5	<u>40,98±2,8</u> 41,79±2,8	<u>39,6±1,4</u> 39,9±1,2	<u>12,9±1,0</u> 12,1±0,7	<u>64,2±4,7</u> 62,7±4,3
6	<u>36,92±2,6</u> 37,63±2,5	<u>19,8±0,9</u> 20,8±0,9	<u>22,4±1,0</u> 21,3±1,1	<u>119,5±6,7</u> 117,3±6,3
7	<u>32,15±2,2</u> 32,79±2,1	<u>15,3±0,8</u> 16,1±0,9	<u>21,4±1,1</u> 20,9±0,8	<u>121,5±5,9</u> 118,4±5,1
8	<u>31,84±2,3</u> 31,69±2,3	<u>13,7±0,7</u> 14,5±0,7	<u>24,8±1,2</u> 22,7±1,0	<u>172,9±7,1</u> 170,3±7,0

Примечание. * в числителе показаны данные почвенной вытяжки образцов, взятых в июле, в знаменателе – в конце сентября по окончании вегетационного периода. Номера видов растений аналогичны данным таблицы 1.

По показателям биотестера выяснены различные динамические характеристики аллелопатических свойств растений. В наибольшей степени угнетает прорастание семян биотестера почвенная вытяжка в местах распространения видов: *Echinocystis lobata*, *Rudbekia hirta*, *Aster*

salignus, *Helianthus tuberosus*; наименьший прирост корней биотестера к контролю зарегистрирован в вытяжке почвы для тех же видов. Согласно данным индекса токсичности (J) почвенная вытяжка малотоксична для субстратов под *Erigeron annuus*, *Oenothera biennis*, *Lupinus polyphyllus*, *Xanthoxalis stricta* (J < 20 единиц). Для указанных видов не доказан эффект торможения. Наименьшая фитотоксичность выявлена в почве для вида *Oenothera biennis*. При сравнении данных, полученных для активных адвентивных видов *Vinca minor* и *Parthenocissus vitacea*, отмечена относительно низкая активность относительно барвинка малого у всех видов, исключая *Echinocystis lobata* и *Aster salignus*, для другого исследованного вида со средней аллелопатической активностью выявлено его превосходство в наличии «биологического оружия» над *Oenothera biennis*, *Lupinus polyphyllus*; по индексу UCE партеноциссус активнее видов: *Erigeron annuus*, *Oenothera biennis*, *Lupinus polyphyllus*, *Xanthoxalis stricta* [9; 18].

Согласно рассчитанным показателям UCE все виды обладают аллелопатической активностью (ниже среднего UCE < 200 единиц). Однако значительная активность по кумариноподобным веществам выявлена для *Echinocystis lobata* и *Aster salignus*. Выделение водорастворимых колинов, ингибиторов роста биотестера, сопоставимо с данными исследованиями других видов, в частности *Acer negundo* [3]. Наибольший ингибирующий эффект позволяет распространяться со значительной скоростью и закрепляться в естественных местообитаниях *Acer negundo*, *Echinocystis lobata*, *Helianthus tuberosus*: эти виды изменяют биохимическую среду почвенных субстратов, подавляя жизнедеятельность других растений. Остальные виды, видимо, используют другую стратегию, позволяющую вытеснять конкурентов из местообитаний.

Все исследованные показатели методом биотестирования различаются для сроков пробоотбора, различия статистически недостоверны.

Адвентивные виды, активно осваивающие элементы естественных биотопов, изменяют ферментативную активность, на что указывают и отечественные и зарубежные авторы. Активность энзимов – важный показатель скорости протекания биохимических процессов: превращении азотсодержащих веществ (уреаза), органических (углеродсодержащих) соединений. Прямой способ установления количества микробиоты, разлагающей целлюлозу, – определение целлюлозолитической активности, контроль углеродного цикла.

Показатели ферментативной активности отражены в таблице 3.

Таблица 3.

**Сезонные данные по активности ферментов в почве
под ценопопуляциями адвентивных видов**

Ценопопуляции	Показатели биохимических процессов		
	Уреазная активность, мг N-NH ₄ ⁺ на 100 г почвы, М±m	Активность каталазы, см ³ O ₂ на 1 г почвы за 1 мин, М±m	% разложения бумаги, сутки
1	<u>15,36±0,09*</u> 17,19±0,10	<u>7,1±0,07</u> 6,9±0,06	<u>1,19</u> 1,21
2	<u>21,96±0,09</u> 22,48±0,09	<u>8,4±0,09</u> 8,8±0,09	<u>1,26</u> 1,28
3	<u>20,57±0,09</u> 22,62±0,10	<u>8,6±0,09</u> 9,1±0,07	<u>1,28</u> 1,31
4	<u>24,5±0,12</u> 25,72±0,12	<u>7,2±0,09</u> 8,1±0,08	<u>1,35</u> 1,39
5	<u>22,19±0,08</u> 23,18±0,11	<u>7,7±0,09</u> 8,8±0,09	<u>1,30</u> 1,32
6	<u>15,14±0,08</u> 16,72±0,11	<u>6,2±0,09</u> 7,6±0,07	<u>1,12</u> 1,17
7	<u>18,86±0,08</u> 18,97±0,11	<u>6,9±0,07</u> 6,7±0,08	<u>1,20</u> 1,21
8	<u>16,73±0,08</u> 17,28±0,11	<u>6,3±0,08</u> 7,2±0,08	<u>1,20</u> 1,21

Примечание. * в числителе показаны данные почвенной вытяжки образцов, взятых в конце сентября по окончании вегетационного периода, в знаменателе – в июле. Номера видов растений аналогичны данным таблицы 1.

Сезонные показатели по активности энзимов в почвах под ценопопуляциями адвентивных видов свидетельствуют о разнообразном воздействии на круговороты биогенных элементов. Наименьшие различия выявлены для активности каталазы; наибольшие – активности уреазы в круговороте азота. Ферментативная активность уреазы наиболее показательна для почвы под *Lupinus polyphyllus*, вида, который активно используется для почвовосстановления и сидерации, откуда и распространяется в естественные сообщества Нечерноземья России. Также и для *Xanthoxalis stricta* получены значительные цифры по уреазной активности, равно как и для *Erigeron annuus*, *Oenothera biennis*. По шкале Д. Г. Звягинцева для оценки степени обогащённости ферментами уреазы активный горизонт почв для всех адвентов отнесен к разряду среднеобогатённых [5]. Многие авторы утверждают, что на активность уреазы как группы гидролаз положительно влияет фактор отсутствия механической обработки почвы – сообщества

адвентов развиваются в местообитаниях, лишенных агротехнических мероприятий, вытесняя из луговых сообществ, аборигенные виды. Наблюдаемый процесс повышения активности уреазы может привести к потерям азота из почвы в составе NH_3 , поэтому в прикладном значении по наличию сообществ некоторых адвентивных видов при мутационных процессах восстановления растительности на месте агроценозов можно диагностировать бедность субстратов соединениями азота [6]. При более высоких значениях активности фермента группы гидролаз в почве, такие биокосные субстраты более устойчивы к внешним стрессовым факторам, что и отмечали специалисты в параллельных биохимических исследованиях.

Каталазная активность в наибольшей степени выявлена для почв с произрастанием сообществ из *Erigeron annuus*, *Oenothera biennis*, минимальные показатели – *Rudbeckia hirta*, *Aster salignus*. Анализ активности фермента группы оксидоредуктаз согласно шкале Д.Г. Звягинцева позволил отнести все исследуемые образцы почв к группе среднеактивных [5]. Фактически по активности фермента каталазы нет четких отличий для восьми исследованных видов. При активности каталазы образуется высокоактивный кислород, который при ухудшении газовой воздушной среды может обеспечивать доступным кислородом микроорганизмы-аэробы: для этих же видов (таблица 3) образцы почвы характеризовались повышенной целлюлозной активностью, т.е. развитым микробным сообществом.

Активность целлюлазы, свидетельствующая о развитости микробного сообщества, разлагающих полисахарид и ускоряющих биогеохимический цикл углерода. Значительное число микроорганизмов формируется в почвах под ценопопуляциями *Lupinus polyphyllus*, *Xanthoxalis stricta*; минимальное разложение целлюлозы зарегистрировано для *Echinocystis lobata* и *Helianthus tuberosus*. Все почвенные образцы имеют среднюю активность целлюлазы. Кроме того, на активность почвенной целлюлазы воздействуют и внешние факторы: кислотность почвы, величина поступающего опада, содержание органической части – гумуса. Для ценопопуляций *Lupinus polyphyllus* и *Helianthus tuberosus* выявлены значительные данные по надземной биомассе, поступающей в качестве опада; однако содержание гумуса выше в почве под ценопопуляциями люпина, так же как и относительно благоприятная гидролитическая кислотность ($\text{pH} = 7,2$).

Все показатели ферментативной активности почвы, формируемые под сообществами адвентивных видов, некоторые из которых имеют статус инвазивных, сравнимы с данными по лугам естественного и искусственного происхождения в среднем Подесенье: ценопопуляции *Lupinus polyphyllus*,

Erigeron annuus, *Oenothera biennis* и в меньшей степени *Xanthoxalis stricta*. При внесении мелиорантов в почву луговых сообществ также возрастали показатели по энзимной активности.

Анализ взаимосвязи между установленными показателями для почв в местообитаниях адвентивных видов показан в таблице 4.

Таблица 4.

Коэффициенты корреляции между эколого-биохимическими и биологическими показателями в почвах с произрастанием адвентов

Коэффициенты R^2	А	Б	В	Г	Д	Е
А *	—	0,57	0,60	0,55	0,59	0,15
Б	.	—	-0,67	-0,69	- 0,71	0,12
В	.	.	—	0,45	0,49	0,14
Г	.	.	.	—	0,51	0,22
Д	.	.	.	.	—	0,47
Е	.	.	.	.	.	—

Примечание. А индекс J, Б UCE, В уреазная активность, Г каталазная активность, Д активность целлюлаз, Е биомасса растений

Анализ корреляционных взаимосвязей показал, что индекс токсичности связан прямыми средней силой связями с ферментативной активностью разнообразных энзимов класса гидролаз и оксидоредуктаз. Выявлена отрицательная сильная зависимость между показателем условных кумариновых единиц и активностью почвенных энзимов, что объясняется подавляющим действием водорастворимых колинов на микробиоту почв. Показатель сухой биомассы связан слабыми корреляционными связями со всеми показателями, кроме активности целлюлаз (средняя сила). Эти зависимости рекомендовано к использованию в биоиндикационных целях и подборе средств ремедиации почв после экспансии местообитаний адвентами.

Эмпирические исследования эколого-биохимических и аллелопатических свойств адвентивных видов в местообитаниях центра Нечерноземья России показали сходство в активности видов: наиболее сильными конкурентами выступают виды, выделяющие в почву колины, а также оказывающие сильный тормозящий эффект, проявляя фитотоксические свойства [12; 13; 15; 19; 22]. Также, как и отмечают зарубежные авторы, видовая специфичность исследуемых эколого-биохимических и аллелопатических качеств, проявляется во многих географически различных условиях, зависит от некоторых сопутствующих факторов, нуждающихся в дополнитель-

ных исследованиях. Высокая ферментативная активность, выявленная и для инвазивных видов на территории Европы, Канады, характерна для адвентов, так как позволяет поглощать доступные ресурсы и стимулировать высокие показатели роста побегов [21; 25]. Аллелохимические вещества прямо ингибируют растения-конкуренты через листовые выщелачивания, летучие вещества и разлагающийся надземный и подземный опад, корневые выделения, а также мутуалистические микробоценозы аборигенных видов: эти положения доказаны не только в натурных экспериментах, но и при камеральных работах в модельных мезокосмах.

Заключение

Проведённые исследования подтвердили гипотезу возможного использования адвентивными видами, особенно в статусе инвазивных, «нового оружия» в виде корневых аллелопатических выделений: все вещества продуцируются адвентами в соответствии с видовыми особенностями. Однако практически не выяснены аллелопатические эффекты местных видов, которые могут регулировать и корневые выделения активно распространяющихся адвентов. Поэтому данные ранее проведённых и настоящих исследований могут быть лишь условно средними аутоаллелопатическими, без учёта других воздействующих экофакторов. Наибольшее почвоутомление вызывает поселение в местообитаниях *Echinocystis lobata*, *Rudbeckia hirta*, *Aster salignus*, *Helianthus tuberosus*, что обуславливает необходимость масштабной и глубокой ремедиации почв химическими, агротехническими или биологическими путями. Аллелопатические вещества подавляют активность почвенных ферментов, что негативно сказывается, в целом, на активности микроорганизмов и роста аборигенных видов, когда как адвенты довольствуются, видимо, небольшим количеством доступных для ростовых и других биопроцессов компонентов.

В исследованиях зарегистрированы повышенные, по сравнению с естественными луговыми местообитаниями, данные по энзимной активности. Стимуляция активности оксидоредуктаз, гидролаз также является видовым признаком растений, хотя каталазная активность практически одинакова для изученных видов. Возрастание скорости разложения целлюлозы, зарегистрированное и для зарубежных исследований, обусловлено некоторым стимулированием бактериального разнообразия, видимо, специфичным для адвентов. Значит, внедрение адвентивных видов в естественные сообщества воздействуют на скорость и интенсивность биогеохимических циклов: механизм этих воздействий до настоящего времени нуждается в

изучении. В прикладном отношении изученные закономерности рекомендуют для планирования мероприятий по механическому удалению адвентов из сообществ: необходимо не только скашивать побеговую часть, но и рекультивировать корни и корневища подземной биомассы, например, глубокой осенней вспашкой. Также важно конструировать комбинированные микробные препараты для биотехнологической ремедиации субстратов, предполагающей коренное преобразование микробиоты.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Виноградова, Ю. К., Майоров, С. Р., & Хорун, Л. В. (2010). *Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России* / под ред. Ю. Ю. Дгебуадзе. Москва: ГЕОС. 512 с. ISBN: 978-88-911-9487-9. EDN: <https://elibrary.ru/pkzqoa>
2. Гродзинский, А. М. (1965). *Аллелопатия в жизни растений и их сообществ*. Киев: Наукова думка. 198 с.
3. Ерёменко, Ю. А. (2014). Аллелопатическая активность инвазионных древесных видов. *Российский Журнал Биологических Инвазий*, (2), 39-33. EDN: <https://elibrary.ru/tfqhph>
4. Зайцев, Г. Н. (1990). *Математика в экспериментальной ботанике*. Москва: Наука. 296 с.
5. Звягинцев, Д. Г. (1991). *Методы почвенной микробиологии и биохимии*. Москва: Изд-во МГУ. 304 с.
6. Космачева, А. Г., Чеснокова, С. М., & Трифонова, Т. А. (2022). Исследование влияния антибиотиков на уреазную активность дерново-подзолистой и серой лесной почв. *Теоретическая и прикладная экология*, (2), 183-190. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-183-190> EDN: <https://elibrary.ru/yracyj>
7. Маевский, П. В. (2014). *Флора средней полосы европейской части России*. Москва: Товарищество научных изданий КМК. 635 с.
8. Панасенко, Н. Н. (2021). *Роль инвазионных растений в современных процессах преобразования растительного покрова*: Дисс. ... доктора биологических наук. Брянск. 390 с.
9. Панасенко, Н. Н., & Анищенко, Л. Н. (2020). *Thladiantha dubia* Bunge в Брянской области: распространение, экология, биохимические особенно-

- сти. *Российский журнал биологических инвазий*, (2), 100-111. EDN: <https://elibrary.ru/mludz>
10. *Природные ресурсы и окружающая среда субъектов Российской Федерации. Центральный Федеральный округ: Брянская область* / Под ред. Н. Г. Рыбальского, Е. Д. Самотесова и А. Г. Митюкова (2007). Москва: НИ-А-Природа. 1144 с.
 11. Хазиев, Ф. Х. (2005). *Методы почвенной энзимологии*. Москва: Наука. 250 с. ISBN: 5-02-033940-7. EDN: <https://elibrary.ru/qkxhyj>
 12. Afzal, M. R., Naz, M., Ashraf, W., & Du, D. (2023). The Legacy of Plant Invasion: Impacts on Soil Nitrification and Management Implications. *Plants (Basel)*, 12(16), 2980. <https://doi.org/10.3390/plants12162980> EDN: <https://elibrary.ru/avfoet>
 13. Chaves Lobón, M., González Félix, M., & Alias Gallego, J. C. (2023). Comparison of the Allelopathic Potential of Non-Native and Native Species of Mediterranean Ecosystems. *Plants (Basel)*, 12(4), 972. <https://doi.org/10.3390/plants1204097> EDN: <https://elibrary.ru/vuhelw>
 14. Feng, S., Zeng, L., Cai, M., Chauvat, M., Forey, E., Tariq, A., et al. (2022). An invasive and native plant differ in their effects on the soil food-web and plant-soil phosphorus cycle. *Geoderma*, 410, 115672. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115672> EDN: <https://elibrary.ru/yumnys>
 15. Kalisz, S., Kivlin, S. N., & Bialic-Murphy, L. (2021). Allelopathy is pervasive in invasive plants. *Biol. Invasions*, 367-371. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02383-6> EDN: <https://elibrary.ru/kkeytx>
 16. Lechner, M., & Kiehn, M. (2010). Assessing invasive potential of plant species cultivated in Botanic Gardens in Central Europe. In *Conference Programme & Book of Abstracts. 4th Global Botanic Gardens Congress. Addressing global change: a new agenda for botanic gardens* (pp. 126-127). Dublin: National Botanic Gardens of Ireland.
 17. Pyšek, P., Cuda, J., Šmilauer, P., Skálová, H., Chumová, Z., et al. (2020). Competition among native and invasive *Phragmites australis* populations: an experimental test of the effects of invasion status, genome size, and ploidy level. *Ecol. Evol.*, 10, 1106-18. <https://doi.org/10.1002/ece3.5907> EDN: <https://elibrary.ru/bryjif>
 18. Panasenko, N. N., & Anishchenko, L. N. (2018). Influence of Invasive Plants *Parthenocissus vitacea* and *Vinca minor* on Biodiversity Indices of Forest Communities. *Contemporary Problems of Ecology*, 11(6), 614-623. <https://doi.org/10.1134/S1995425518060070> EDN: <https://elibrary.ru/mlhfyd>
 19. Qu, T., Peng, Y., Guo, W., Zhao, C., & Losapio, G. (2021). Invasive species allelopathy decreases plant growth and soil microbial activity. *PLoS One*, 16(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246685> EDN: <https://elibrary.ru/srynsnw>

20. Richardson, D. M., Pysek, P., Rejmanek, M., Barbour, M. G., Panetta, F. D., & West, C. J. (2000). Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distribution*, 6, 93-107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083>
21. Torres, N., Herrera, Fajarfo, L., & Bustamante, R. O. (2021). Meta-analysis of the impact of plant invasions on soil microbial communities. *BMS Ecology and Evolution*, 21, 172. <https://doi.org/10.1186/s12862-021-01899-2> EDN: <https://elibrary.ru/lhsyky>
22. Unger, I. M., Kremer, R. J., Veum, K. S., & Gotyne, K. W. (2022). Immediate and long-term effects of invasive plant species on soil characteristics. *Soil Ecology Letters*, 4(3), 276-288. <https://doi.org/10.1007/s42832-021-0104-4> EDN: <https://elibrary.ru/dkemyw>
23. Yuan, L., Li, J. M., Yu, F. H., Oduor, A., & van Kleunen, M. (2021). Allelopathic and competitive interactions between native and alien plants. *Biological Invasions*, 23, 3077-3090. <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02565-w> EDN: <https://elibrary.ru/lygirj>
24. Zang, L., Wang, S., Liu, S., Zou, J., & Siemann, E. (2018). Perennial forb invasions alter greenhouse gas balance between ecosystem and atmosphere in annual grassland in China. *Science of the Total Environment*, 642, 781-788. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.111>
25. Zang, P., Li, B., Wu, J., & Hu, S. (2019). Invasive plants differentially affect soil biota through litter and rhizosphere pathways: a meta-analysis. *Ecology Letters*, 22(1), 200-210. <https://doi.org/10.1111/ele.13181>
26. Zang, Y., Leng, Z., Wu, Y., Jia, H., & Yan, C. (2022). Interaction between nitrogen, phosphorus, and invasive alien plants. *Sustainability*, 746. <https://doi.org/10.3390/su14020746> EDN: <https://elibrary.ru/oiddsz>
27. Zhou, Y., & Staver, A. C. (2019). Enhanced activity of soil nutrient-releasing enzymes after plant invasion: a meta-analysis. *Ecology*, 100(11). <https://doi.org/10.1002/ecy.2830>

References

1. *Black book of flora of Central Russia: alien plant species in ecosystems of Central Russia* / Vinogradova, Y. K., Mayorov, S. R., Khorun, L. V. (2010). Ed. by Yu. Yu. Dgebuadze. Moscow: GEOS, 512 p. ISBN: 978-88-911-9487-9. EDN: <https://elibrary.ru/pkzqoa>
2. Grodzinsky, A. M. (1965). *Allelopathy in the life of plants and their communities*. Kiev: Naukova Dumka, 198 p.
3. Eremenko, Y. A. (2014). Allelopathic activity of invasive tree species. *Russian Journal of Biological Invasions*, (2), 39-33. EDN: <https://elibrary.ru/tfqhph>

4. Zaitsev, G. N. (1990). *Mathematics in experimental botany*. Moscow: Nauka, 296 p.
5. Zvyagintsev, D. G. (1991). *Methods of soil microbiology and biochemistry*. Moscow: MSU Publishing House, 304 p.
6. Kosmacheva, A. G., Chesnokova, S. M., & Trifonova, T. A. (2022). Study of antibiotic effect on urease activity in podzolic and gray forest soils. *Theoretical and Applied Ecology*, (2), 183-190. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-183-190> EDN: <https://elibrary.ru/yracyj>
7. Maevsky, P. V. (2014). *Flora of the central part of European Russia*. Moscow: KMK Scientific Press, 635 p.
8. Panasenko, N. N. (2021). *The role of invasive plants in modern processes of vegetation cover transformation*. Dr. Sci. (Biol.) thesis. Bryansk, 390 p.
9. Panasenko, N. N., & Anishchenko, L. N. (2020). Thladiantha dubia Bunge in the Bryansk region: distribution, ecology, biochemical features. *Russian Journal of Biological Invasions*, (2), 100-111. EDN: <https://elibrary.ru/mludz>
10. *Natural resources and environment of the Russian Federation regions. Central Federal District: Bryansk region* / Ed. by N. G. Rybalsky, E. D. Samotesova, A. G. Mityukov (2007). Moscow: NIA-Priroda, 1144 p.
11. Khaziev, F. H. (2005). *Methods of soil enzymology*. Moscow: Nauka, 250 p. ISBN: 5-02-033940-7. EDN: <https://elibrary.ru/qkxhyj>
12. Afzal, M. R., Naz, M., Ashraf, W., & Du, D. (2023). The Legacy of Plant Invasion: Impacts on Soil Nitrification and Management Implications. *Plants (Basel)*, 12(16), 2980. <https://doi.org/10.3390/plants12162980> EDN: <https://elibrary.ru/avfoet>
13. Chaves Lobón, M., González Félix, M., & Alías Gallego, J. C. (2023). Comparison of the Allelopathic Potential of Non-Native and Native Species of Mediterranean Ecosystems. *Plants (Basel)*, 12(4), 972. <https://doi.org/10.3390/plants1204097> EDN: <https://elibrary.ru/vuhelw>
14. Feng, S., Zeng, L., Cai, M., Chauvat, M., Forey, E., Tariq, A., et al. (2022). An invasive and native plant differ in their effects on the soil food-web and plant-soil phosphorus cycle. *Geoderma*, 410, 115672. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115672> EDN: <https://elibrary.ru/yumnys>
15. Kalisz, S., Kivlin, S. N., & Bialic-Murphy, L. (2021). Allelopathy is pervasive in invasive plants. *Biol. Invasions*, 367-371. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02383-6> EDN: <https://elibrary.ru/kkeytx>
16. Lechner, M., & Kiehn, M. (2010). Assessing invasive potential of plant species cultivated in Botanic Gardens in Central Europe. In *Conference Programme & Book of Abstracts. 4th Global Botanic Gardens Congress. Addressing global*

change: a new agenda for botanic gardens (pp. 126-127). Dublin: National Botanic Gardens of Ireland.

17. Pyšek, P., Cuda, J., Šmilauer, P., Skálová, H., Chumová, Z., et al. (2020). Competition among native and invasive *Phragmites australis* populations: an experimental test of the effects of invasion status, genome size, and ploidy level. *Ecol. Evol.*, 10, 1106-18. <https://doi.org/10.1002/ece3.5907> EDN: <https://elibrary.ru/bryjif>
18. Panasenکو, N. N., & Anishchenko, L. N. (2018). Influence of Invasive Plants *Parthenocissus vitacea* and *Vinca minor* on Biodiversity Indices of Forest Communities. *Contemporary Problems of Ecology*, 11(6), 614-623. <https://doi.org/10.1134/S1995425518060070> EDN: <https://elibrary.ru/mlhfyd>
19. Qu, T., Peng, Y., Guo, W., Zhao, C., & Losapio, G. (2021). Invasive species allelopathy decreases plant growth and soil microbial activity. *PLoS One*, 16(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246685> EDN: <https://elibrary.ru/srynsu>
20. Richardson, D. M., Pyšek, P., Rejmanek, M., Barbour, M. G., Panetta, F. D., & West, C. J. (2000). Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distribution*, 6, 93-107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083>
21. Torres, N., Herrera, Fajarfo, L., & Bustamante, R. O. (2021). Meta-analysis of the impact of plant invasions on soil microbial communities. *BMS Ecology and Evolution*, 21, 172. <https://doi.org/10.1186/s12862-021-01899-2> EDN: <https://elibrary.ru/lhsyky>
22. Unger, I. M., Kremer, R. J., Veum, K. S., & Gotyue, K. W. (2022). Immediate and long-term effects of invasive plant species on soil characteristics. *Soil Ecology Letters*, 4(3), 276-288. <https://doi.org/10.1007/s42832-021-0104-4> EDN: <https://elibrary.ru/dkcmwyw>
23. Yuan, L., Li, J. M., Yu, F. H., Oduor, A., & van Kleunen, M. (2021). Allelopathic and competitive interactions between native and alien plants. *Biological Invasions*, 23, 3077-3090. <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02565-w> EDN: <https://elibrary.ru/lygirj>
24. Zang, L., Wang, S., Liu, S., Zou, J., & Siemann, E. (2018). Perennial forb invasions alter greenhouse gas balance between ecosystem and atmosphere in annual grassland in China. *Science of the Total Environment*, 642, 781-788. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.111>
25. Zang, P., Li, B., Wu, J., & Hu, S. (2019). Invasive plants differentially affect soil biota through litter and rhizosphere pathways: a meta-analysis. *Ecology Letters*, 22(1), 200-210. <https://doi.org/10.1111/ele.13181>
26. Zang, Y., Leng, Z., Wu, Y., Jia, H., & Yan, C. (2022). Interaction between nitrogen, phosphorus, and invasive alien plants. *Sustainability*, 746. <https://doi.org/10.3390/su14020746> EDN: <https://elibrary.ru/oiddsz>

27. Zhou, Y., & Staver, A. C. (2019). Enhanced activity of soil nutrient-releasing enzymes after plant invasion: a meta-analysis. *Ecology*, 100(11). <https://doi.org/10.1002/ecy.2830>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Земскова Лолита Алексеевна, аспирант кафедры географии, экологии и землеустройства

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация
lolita.zemskova.98@mail.ru

Авраменко Марина Васильевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры географии, экологии и землеустройства

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация
avramenko_marina84@mail.ru

Ноздрачева Елена Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация
nozdz-ev@mail.ru

Чиграй Ольга Николаевна, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры, экологии землеустройства

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»
ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация
chigrai-olga@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Lolita A. Zemskova, Graduate Student of the Department of Geography, Ecology and Land Management
*Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation
lolita.zemskova.98@mail.ru*

Marina V. Avramenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Geography, Ecology and Land Management
*Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation
avramenko_marina84@mail.ru*

Elena V. Nozdracheva, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Geography, Ecology and Land Management
*Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation
nozdr-ev@mail.ru*

Olga N. Chigrai, Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer at the Department of Geography, Ecology and Land Management
*Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation
chigrai-olga@mail.ru*

Поступила 05.09.2024

После рецензирования 07.11.2024

Принята 25.11.2024

Received 05.09.2024

Revised 07.11.2024

Accepted 25.11.2024