

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
Отделение биологических наук  
Научно-практический центр по биоресурсам  
Центральный ботанический сад

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ, ПРОВЕДЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Материалы международной научной конференции,  
посвященной 95-летию со дня рождения  
члена-корреспондента НАН Беларуси Е. А. Сидоровича  
(9–10 марта 2023 года, Минск)

Минск  
«ИВЦ Минфина»  
2023

УДК 502.175:[502.211:582](476)(082)  
ББК 28.588(4Бел)я43  
Т33

Редакционная коллегия:

доктор биологических наук, член-корреспондент НАН Беларуси  
*Ж. А. Рупасова* (ответственный редактор); кандидат биологических наук *П. Н. Белый*;  
доктор биологических наук *Н. В. Гетко*; кандидат биологических наук *Л. В. Гончарова*;  
*С. М. Кузьменкова*; доктор биологических наук *Е. Н. Кутас*;  
кандидат биологических наук *А. П. Яковлев*

Рецензенты:

доктор биологических наук, член-корреспондент НАН Беларуси, доцент *В. Н. Прохоров*  
(Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича  
Национальной академии наук Беларуси);  
доктор биологических наук, доцент *О. В. Созинов*  
(Гродненский государственный университет имени Янки Купалы)

Т33 **Теоретические** и прикладные аспекты организации, проведения и использования мониторинговых наблюдений : материалы международной научной конференции, посвященной 95-летию со дня рождения члена-корреспондента НАН Беларуси Е. А. Сидоровича (Минск, 9–10 марта 2023 г.) / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] ; редкол.: Ж. А. Рупасова [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2023. – 383 с.

ISBN 978-985-880-314-8.

В сборнике представлены материалы по изучению теоретических и прикладных аспектов организации, проведения и использования мониторинговых наблюдений для оценки и прогноза изменений состояния растительности под воздействием природных и антропогенных факторов. Обсуждаются актуальные проблемы рационального природопользования, охраны окружающей среды и рекультивации нарушенных земель.

УДК 502.175:[502.211:582](476)(082)  
ББК 28.588(4Бел)я43

ISBN 978-985-880-314-8

© ГУО «Центральный ботанический сад  
Национальной академии наук Беларуси», 2023  
© Оформление. УП «ИВЦ Минфина», 2023

## МОНИТОРИНГ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ, ГЕНЕТИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРИМЕРЕ ОЦЕНКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ЖОСТЕРА СЛАБИТЕЛЬНОГО В БЕЛАРУСИ И РЕГИОНЕ СРЕДНЕГО ЗАПАДА США

Е. В. Спиридович<sup>1</sup>, А. Б. Власова<sup>1, 2</sup>, А. И. Кохановский<sup>1</sup>, Е. Д. Агабалаева<sup>1</sup>,  
А. М. Деева<sup>1</sup>, Д. В. Дубовик<sup>3</sup>, А. Н. Скуратович<sup>3</sup>, Ю. К. Виноградова<sup>4</sup>,  
академик В. Н. Решетников<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Центральный ботанический сад НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Меттай Ботанический Сад Николс Арборетум, Университет Мичигана, Анн-Арбор, США

<sup>3</sup>Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>4</sup>Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина Российской академии наук,  
г. Москва, Российская Федерация

**Резюме.** Изучен видовой состав и структура растительных сообществ, в которых произрастает *Rh. cathartica* – аборигенный для Беларуси и инвазионный в США вид. Полученные данные подтвердили гипотезу повышения конкурентоспособности чужеродных видов во вторичном ареале (ЕІСА). В американских популяциях, по сравнению с белорусскими, *Rhamnus cathartica* имеет более крупные размеры, более высокую семенную продуктивность, более высокую численность ювенильных особей и более высокую общую численность особей в популяциях вплоть до формирования монодоминантных зарослей. Внедрение жостера в естественные сообщества США снижает число видов травяного яруса в 8 раз. Доказано, что аллелопатический эффект в почве из всех водорастворимых соединений *Rhamnus cathartica* оказывают гидроксиантрахиноны листьев. На основе выявленных более чем 50 микросателлитных (SSR) локусов рассчитаны показатели генетического разнообразия (ГР) для изучаемых популяций, подтверждено наличие гибридных форм *R. cathartica* в условиях вторичной натурализации.

**Summary.** The species abundance and structure of plant communities in which *Rhamnus cathartica*, a native species for Belarus and invasive in the USA, grows has been studied. The data confirmed the hypothesis of increased competitiveness of non-native species in the secondary range (EICA). In American populations, compared to Belarusian populations, *Rhamnus cathartica* has larger size, higher seed production, higher number of juvenile individuals, and higher total number of individuals in the population up to the formation of single-species thickets. Invasion of *Rhamnus cathartica* into natural plant communities in the U.S.A. reduces the number of herbaceous species in 8 times. It has been proven that allelopathic effect in the soil of all water-soluble compounds depends upon hydroxyanthraquinones from the leaves. On the basis of more than 50 microsatellite (SSR) loci, indicators of genetic diversity (GR) were calculated for the studied populations, the presence of hybrid forms of *Rhamnus cathartica* under conditions of secondary naturalization was confirmed.

Мониторинг, как наблюдение за состоянием окружающей среды с целью её контроля, прогноза и охраны, приобрел и приобретает важное значение в жизни научного сообщества, о чем свидетельствует создание в 1988 г. Всемирного центра мониторинга охраны природы (ВЦ МОП) и интенсивные исследова-

тельские работы в Беларуси – Минприроды, Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, научных центров особо охраняемых растительных территорий, к которым также относится ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси».

Деятельность Сада в области мониторинга сосредоточена на его локальном уровне – наблюдение за состоянием растительности старинных дворцово-парковых, усадебно-парковых комплексов и дендросадов, включая дендрарий нашего Сада как памятника природы Республиканского значения.

Отметим, что стартовую отмашку деятельности в этом направлении дали исследования члена-корреспондента НАН Беларуси Евгения Антоновича Сидоровича и доктора биологических наук Анатолия Тарасовича Федорука. Результаты работ отражены в таких широко известных изданиях, как «Старинные усадьбы Минского края» (2000 г.), «Старинные усадьбы Берестейщины» (2004 г.) и др.

Комплексные исследования в области мониторинга отдельных семейств древесно-кустарниковых растений проведены сотрудниками отдела биохимии и биотехнологии растений, в частности, с представителем сем. Крушиновые (*Rhamnaceae*) – жостером слабительным.

Род Жостер (*Rhamnus* L., 1753) семейства Крушиновые (*Rhamnaceae* Juss., 1789) включает по разным данным от 125 до 200 видов, которые широко распространены в природе и обитают на всех континентах, за исключением Австралии [1]. Наибольшее разнообразие видов представлено в Азии [2].

Вместе с тем этот вид (*Rhamnus cathartica*) является широко распространенным агрессивным инвазионным в США на Среднем Западе, что приводит к экономическим потерям в результате нарушений и повреждений естественных и сельскохозяйственных экотопов [3]. Во вторичном ареале представители рода *Rhamnus* также являются многолетними кустарниками, но достигают более развитого габитуса и повышенного плодоношения. Доказан значительный негативный эффект этих видов на природные экосистемы, в том числе конкуренцию с природными видами *Rhamnus* в США [4]. Предполагается потенциальная возможность гибридизации *Rhamnus cathartica* в регионах инвазии с другими таксонами, что может приводить к формированию еще более агрессивных форм этих видов.

Изучение растительности включало в себя закладку постоянных пробных площадей (ППП) с привязкой к точкам согласно GPS координатам, на которых использованы стандартизированные для сравнительных

исследований геоботанические методы [5]. На территории РБ площадки для исследования растространения жостера слабительного *R. cathartica* были заложены в двух локалитетах: 1) «Болдук» – берег озера Болдук: площадка размером 50×2 м, N 54.966667° E 26.418056° (ППП 1) и 2) «Теляки-Скоры» – придорожная часть дороги Р28 Мядель – к/п Нарочь размером 25×4 м, N 54.883333° E 26.783333° (ППП 2). В обоих локалитетах климат умеренно континентальный. В условиях вторичного ареала в регионе Среднего Запада США (штаты Миннесота и Мичиган) для изучения инвазионных популяций *Rhamnus cathartica* были исследованы три локалитета: 1) штат Миннесота, графство Carver, озеро Тамарак, частная территория на границе с Ландшафтным Арборетумом, без специального ухода, N 54.883333° W 26.783333° (ППП3), 2) штат Миннесота, графство Carver, территория Миннесотского ландшафтного арборетума, находящаяся под реставрацией, с применением различных методов борьбы с жостером слабительным, N 44.873900° W 93.631267° (ППП 4) и 3) штат Мичиган, г. Анн Арбор, территории Мэтай ботанического сада и Николз Арборетума под реставрацией, городские площадки, N 42.291062° W 83.728344° (ППП 5). Климат штатов Миннесота и Мичиган – влажный континентальный.

Готовили водные экстракты из листьев *Rh. cathartica* в соотношении: 1 г сухих листьев на 100 мл воды. В экстрактах измеряли количество гидроксипроантрахинонов по Борнтрегиру и общее количество фенолов по Фолину [6]. Водные экстракты листьев *Rh. cathartica* раститровали по гидроксипроантрахинонам на 4 дозы (моль экв.эмадина/л): 1)  $3,38 \cdot 10^{-5}$ , 2)  $6,75 \cdot 10^{-5}$ , 3)  $10,13 \cdot 10^{-5}$ , 4)  $13,5 \cdot 10^{-5}$ . В раститрованные экстракты высаживали луковицы *Allium cepa* массой 3 г по 9 шт. на каждую дозу. На 10-й день измеряли длину корней. Генетический мониторинг проводили стандартными методами популяционного молекулярно – генетического анализа [7].

На основе мониторинговых исследований изучен видовой состав и структура растительных сообществ, в которых произрастает *Rhamnus cathartica* – аборигенный для Беларуси и инвазионный в США вид. Проведено сравнение изучаемых параметров (полное флористи-

ческое описание пробных площадок, полевой пересчет растений жостера, средняя высота, проективное покрытие сопутствующих видов) на двух пробных площадках на территории Беларуси и трех площадках на среднем Западе США. Полученные данные подтвердили гипотезу повышения конкурентоспособности чужеродных видов во вторичном ареале (ЕІСА). В американских популяциях, по сравнению с белорусскими, *Rhamnus cathartica* имеет более крупные размеры, более высокую семенную

продуктивность, более высокую численность ювенильных особей, и более высокую общую численность особей в популяциях вплоть до формирования монодоминантных зарослей. Внедрение жостера в естественные сообщества США снижает число видов травяного яруса в 8 раз (рис. 1). В качестве мер борьбы Арборетум Миннесоты начал облысение участков, на которые вторгся жостер, удаление на них малолетних особей (возраст от года до 5 лет), подсаживание местных древесных пород.

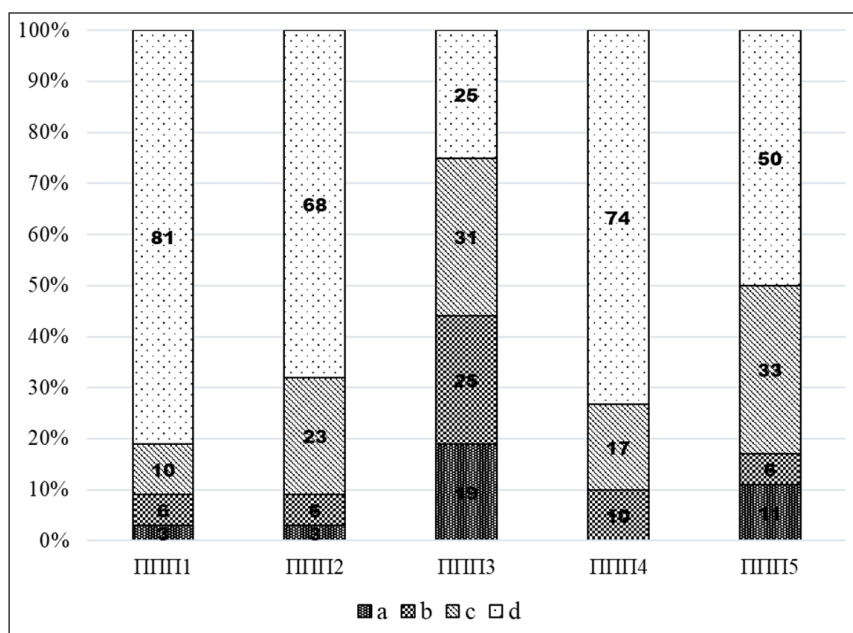


Рисунок 1 – Доля участия видов различных ярусов в структуре фитоценозов (*a* – взрослые деревья, *b* – подрост, *c* – кустарниковый ярус, *d* – травяной ярус)

Проведенный биохимический мониторинг показал, что все части растений *Rhamnus cathartica*, содержат гидроксиантрахиноны, большую часть которых составляет тригидроксиантрахинон – эмодин [8]. Их роль в физиологии растений не выяснена полностью. Считается, что эти соединения, попадая в почву с опавшей листвой, могут быть причиной аллелопатии. Предыдущие исследования показали, что эмодин ингибирует рост корней *A. cerea*, при этом в тканях корней наблюдаются признаки токсического воздействия ксенобиотика [9]. Листья *Rhamnus cathartica* содержат помимо гидроксиантрахинонов много других фенольных соединений, которые могут способствовать аллелопатическому эффекту. Мониторинговые биохимические исследования на модельном организме *Allium cerea* дали

возможность определить аллелопатическую роль гидроксиантрахинонов по отношению к другим фенольным соединениям листьев *Rhamnus cathartica*. Доказано, что из всех водорастворимых соединений, содержащихся в листьях *Rhamnus cathartica*, основную роль в аллелопатическом эффекте играют гидроксиантрахиноны [10]. Также было измерено количественное содержание суммы фенольных соединений, в частности глюкофрангулинов, каротиноидов и уровень антиоксидантной активности.

На основе мониторинговых генетических исследований выявлено более пятидесяти микросателлитных (SSR) локусов, рассчитаны показатели ГР (генетического разнообразия) для популяций исследуемых видов в зоне вторичной интродукции (Средний Запад США)

и природном ареале (в Беларуси). Все обследованные популяции дифференцированы по показателям разнообразия, гетерозиготности, фрагментации и охарактеризована их генетическая структура. В частности показано, что большинство популяций обладают уникальными локусами и их комбинацией, а характер распределения вариабельности в условиях природного ареала обитания (Беларусь) и вторичной натурализации (Средний Запад США) отличается [4]. В условиях вторичной натурализации *Rhamnus cathartica* обнаружена разница в распределении частот локусов в популяциях вида, где предпринимаются действия по восстановлению естественных экотопов (ППП 4). На основании данных оценки генетической структуры, анализов РСoA и AMOVA, получены дополнительные доказательства множественных событий интродукции вида *Rhamnus cathartica* в зоне вторичной натурализации (Средний Запад США).

Множественная интродукция может приводить к более успешной гибридизации, что в свою очередь потенциально предоставляет ресурсы для большей пластичности вида и для быстрых перестроек и адаптаций к новым условиям среды и завоеваниям новых ниш и территорий [11]. Получены данные, подтверждающие наличие гибридных форм *Rhamnus cathartica* в условиях вторичной натурализации (Средний запад США), которые могут представлять еще более опасные инвазивные формы для природной флоры региона [7].

Создана обширная база полиморфных регионов простых повторов (SSR) по выявлению генов ответственных за приобретенные адаптации в условиях вторичной натурализации (зоне инвазии). В этой связи, проведенная работа и данные по содержанию вторичных метаболитов будут полезны в особенности для корреляция биохимических и генетических маркеров, и выявления роли генов биосинтеза этих метаболитов для завоевания новых территорий, и в частности аллелопатии.

На основании мониторинговых исследований 2017–2022 гг. установлено, что, в естественном ареале жостер растет в лесных фитоценозах с возобновляемым древесным ярусом, хорошо выраженным кустарниковым ярусом и преобладанием в спектре видов травяного яруса. Во вторичном ареале в фитоце-

нозах преобладают кустарники и подрост, что приводит к сильному затенению и существенному сокращению доли травянистых видов. После мер борьбы с инвазией жостера, структура растительного сообщества имеет тенденцию возврата к оптимальному соотношению ярусов, характерному для сообществ естественного ареала, а число видов травяного яруса увеличивается в 8 раз. Возможно, в ходе микроэволюции в США сформировался оригинальный морфотип, характеризующийся более мощным габитусом и наличием многочисленных шипообразных верхушек однолетних побегов. Это может быть связано с тем, что в Северной Америке в ходе преднамеренной интродукции использовался посадочный материал из разных частей евроазиатского ареала. Таким образом, наши данные подтверждают правомерность гипотезы [11] повышения конкурентоспособности чужеродных видов во вторичном ареале (EICA, Evolution of Increased Competitive Ability). Во вторичном ареале, по сравнению с естественным ареалом, *Rhamnus cathartica* имеет более крупные размеры, более высокую семенную продуктивность, более высокую численность ювенильных особей, более высокую общую численность особей в популяции вплоть до формирования монодоминантных зарослей. Генетическая дифференциация видов *Rh. cathartica* в их естественном ареале и в условиях интродукции (регион инвазии) показывает множественные интродукции видов, а также позволяет выявить предполагаемые гены, ответственные за адаптации к новым условиям обитания. Комплексный эколого-генетический подход и изучение биохимических параметров способствует разработке мер эффективного контроля распространения инвазионных видов и их вредоносного влияния на природные экосистемы.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда», задания 6.2, при поддержке комиссии по инвазионным видам Научного Совета ботанических садов стран СНГ при МААН. Авторы выражают благодарность Д. Миллеру, М. Косту и А. Резничеку, сотрудникам Меттай Ботанического Сада Николз Арборетума, Университет Мичигана, Анн-Арбор, США за помощь в сборе и анализе образцов.

### Список цитированных источников

1. Грубов, В. И. Монографический обзор рода *Rhamnus* L. / В. И. Грубов // Тр. Ботанического института АН СССР. Сер. 1. – Л., 1949. – Т. 8. – С. 241–423.
2. Алексеев, Ю. А. Сем. Rhamnaceae Juss. – Крушиновые / Ю. А. Алексеев, Н. Н. Цвелёв // Флора Восточной Европы / отв. ред. и ред. тома Н. Н. Цвелёв. – СПб.: Мир и семья-95, 1996. – Т. IX. – С. 392–398.
3. Above- and belowground impacts of European buckthorn (*Rhamnus cathartica*) on four native forbs / S. Klionsky [et al.] // Restor Ecol 19. – 2011. – P. 728–736.
4. Genetic and Ecological Comparisons between Belarus and Upper Midwest Populations of *Rhamnus cathartica* / D. Miller [et al.] // Sharing Innovative and Practical Solutions. Abstracts of 2018 Upper Midwest Invasive Species Conference – North American Invasive Species Management Association (UMISC – NAISMA 2018). – Rochester, Minnesota, USA, October 15–18, 2018. – P. 19–20.
5. Kulikova, G. G. Basic geobotanical methods for studying vegetation / G. G. Kulikova; ed. A. K. Timonin. – Moscow: Moscow State University, 2006. – 152 p.
6. Карпук, В. В. Фармакогнозия / В. В. Карпук. – Минск: БГУ, 2011. – С. 242, 277.
7. Genetic comparison of introduced and native populations of common buckthorn (*Rhamnus cathartica*), a woody shrub introduced into North America from Europe / A. Wafer [et al.] // Plant Science and Management. – 2020. – Т. 13, № 2. – С. 68–75.
8. Anthraquinone profiles, antioxidant and antimicrobial properties of *Frangula rupestris* (Scop.) Schur and *Frangula alnus* Mill. Bark / D. Kremer [et al.] // Food Chemistry. – 2012. – Vol. 131. – P. 1174–1180.
9. Кохановский, А. И. Некоторые аспекты биологического действия эмода на растения / А. И. Кохановский, В. М. Юрин, Е. Ю. Кохановская // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. – 2021. – № 2. – С. 97–103.
10. Каханоўскі, А. І. Алелопатычная роля гідроксиантрахінонаў *Frangula alnus* і *Rhamnus cathartica* / А. І. Каханоўскі, А. У. Спірыдовіч, А. С. Новікава // Клеточная біялогія і біатэхналогія раслін: тэзісы дакладаў III Міжнарод. науч.-практ. конф., Минск, 24–27 мая 2022 г. – Минск: Бел. гос. ун-т, 2022. – P. 38. – EDN SQTSAВ.
11. Man Boheemen, L. A. Rapid and repeated local adaptation to climate in an invasive plant / L. A. man Boheemen, D. Z. Atwater, K. A. Hodgins // New Phytologist. – 2019. – Vol. 222(1). – P. 614–627.