

УДК 581.524+502.57

ВЛИЯНИЕ *SOLIDAGO CANADENSIS* НА ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ФИТОЦЕНОЗОВ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

© 2021 г. А. П. Гусев*

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Беларусь 246019 Гомель, ул. Советская, 104

*e-mail: andi_gusev@mail.ru

Поступила в редакцию 06.09.2020 г.

После доработки 05.11.2020 г.

Принята к публикации 13.11.2020 г.

Ключевые слова: чужеродные виды, инвазия, *Solidago canadensis* L., видовое богатство**DOI:** 10.31857/S0367059721030069

Вторжение чужеродных растений и животных может создавать угрозу для вымирания эндемичных видов в наземных и водных экосистемах [1–3], что в наибольшей степени проявляется на островах [4]. Однако воздействие вселения чужеродных видов на биоразнообразие неоднозначно, поскольку, например, в материковых регионах адвентивные виды составляют 10–20% флор, на островах – 45–80% [1]. Таким образом, адвентивные виды вносят существенный вклад в общее биоразнообразие. Оценке причинно-следственной связи между распространением чужеродных видов и снижением местного биоразнообразия посвящены работы [5–9]. Показано [8], что существует отрицательная связь между пространственным охватом исследования и величиной воздействия инвазий на видовое богатство. Аналогично взаимосвязи между биоразнообразием и инвазиями чужеродных видов варьируют в зависимости от пространственного и временного масштаба исследований [6]. Влияние на видовое разнообразие разных инвайдеров также различается и определяется характеристиками их популяций, морфологией и сомкнутостью полога [7].

В ландшафты умеренного пояса Евразии активно внедряется чужеродный североамериканский вид *Solidago canadensis* L. – многолетний корневищный гемикриптофит высотой часто более 2 м с высокой плодовитостью. Исследованы факторы распространения *S. canadensis* [10–12], его влияние на орнитофауну [13], насекомых-опылителей [14], свойства почв [15], особенности микоризных взаимодействий [16], а также способность ингибировать восстановительные сукцессии на заброшенных сельскохозяйственных землях [17–19]. Слабо изучено воздействие *S. canadensis* на биологическое разнообразие.

Цель настоящей работы – изучение последствий вторжения чужеродного *S. canadensis* в рас-

тительные сообщества Белорусского Полесья с проверкой двух гипотез: *S. canadensis* негативно влияет на видовое богатство синантропных фитоценозов и между его проективным покрытием и богатством сообществ существует значимая связь.

Исследования проведены в Белорусском Полесье (зона широколиственно-лесных ландшафтов). Климатические показатели: – 4.5°C – средняя температура января; +19.8°C – средняя температура июля; 2500–2800°C – годовая сумма температур выше 10°C; 600–650 мм – годовое количество осадков. Рельеф низменный. Лесистость территории 46%. Обрабатываемые земли занимают около 30%, а нарушенные и застроенные – до 4%. Модельный вид *S. canadensis* интродуцирован в Беларусь как декоративное растение в середине XX в. Активное распространение в рудеральных, луговых и лесных фитоценозах началось в 2000-е гг.

Повторные геоботанические описания проводили на четырех ключевых участках. Ключевой участок I (52°29'28.32" с.ш., 30°59'43.19" в.д.) – пахотные земли, выведенные из хозяйственного оборота, почвы – дерново-подзолистые окультуренные, супесчаные, подстилаемые моренными суглинками с глубины 2 м. Время начала восстановительной сукцессии – 2002 г. Повторные описания выполнили на 5 площадках размером 5 × 5 м в 2002, 2004, 2006, 2008, 2013, 2015, 2016 гг. Ключевой участок II (52°29'26.06" с.ш., 30°59'50.60" в.д.) – пахотные земли, выведенные из хозяйственного оборота, почвы – дерново-подзолистые окультуренные, супесчаные, подстилаемые моренными суглинками с глубины 2 м. Время начала восстановительной сукцессии – 2002 г. Повторные описания выполнили на 5 площадках размером 5 × 5 м в 2002, 2008, 2013, 2015, 2016 гг. Ключевой участок III (52°29'23.42" с.ш., 30°59'38.37" в.д.) – земли, нарушенные при строительстве, почвенный покров

нарушен, грунт – песчаный. Время начала восстановительной сукцессии – 2002–2003 гг. (предположительно). Повторные описания выполнили на 5 площадках (5 × 5 м) в 2005 и 2016 гг. Ключевой участок IV (52°21'2.00" с.ш., 31°3'32.26" в.д.) – земли, нарушенные при строительстве, почвы – дерново-подзолистые, песчаные. Время начала восстановительной сукцессии – 2001–2002 гг. (предположительно). Повторные описания выполнили на 6 площадках (5 × 5 м) в 2006 и 2018 гг.

За пределами ключевых участков сообщества с доминированием *S. canadensis* выявляли на основе маршрутных наблюдений и описывали на площадях 25 м² в 2015–2019 гг. (135 пробных площадей). Проективное покрытие определяли по 5-балльной шкале: (+) – менее 1%; 1 – менее 5%; 2 – 6–15%; 3 – 16–25%; 4 – 26–50%; 5 – более 50%. Геоботанические описания сводили в фитоценологические таблицы и для каждого вида устанавливали класс постоянства: I – менее 20%; II – 21–40%; III – 41–60%; IV – 61–80%; V – 81–100% [18]. Проективное покрытие *S. canadensis* определяли в %. Для классификации сообществ применяли эколого-флористический метод Браун-Бланке [20, 21]. Названия растений приведены по сводке С.К. Черпанова [22].

В качестве показателей разнообразия в статье использованы видовое богатство – число видов сосудистых растений на 25 м²; индексы разнообразия Симпсона и Шеннона [23]. Индексы рассчитывали на основе долей видов в общем проективном покрытии.

По результатам повторных описаний на ключевых участках изучали изменения характеристик фитоценозов (видовой состав, эколого-ценотическая структура, видовое богатство) во времени. Оценку значимости различий проводили по *t*-критерию Стьюдента. Для изучения связи между покрытием *S. canadensis* и показателями видового богатства рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена (r_s). Статистическая обработка проводилась с помощью программы STATISTICA 6.0.

Многолетние наблюдения на постоянных ключевых участках в типичных местообитаниях Белорусского Полесья, уязвимых к инвазиям чужеродных растений, показали следующее.

На ключевом участке I с 2002 г. по 2006 г. сукцессия шла от доминирования видов класса Chenopodietea Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1952 (*Chenopodium album* L., *Echinochloa crusgalli* (L.) P. Beauv., *Coryza canadensis* (L.) Cronqist) к доминированию видов рудерального класса Artemisietea vulgaris Lohmeyer et al. in Tx. et von Rochow 1951 (*Tanacetum vulgare* L., *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Daucus carota* L.). Впервые *S. canadensis* в пределах участка появился в 2006 г., к 2016 г. он стал доминантом с проективным покрытием более 50%. К этому времени сократилось участие *A. vulgaris*,

D. carota, *Hypericum perforatum* L., исчезли *Trifolium arvense* L., *Trifolium pratense* L., *Poa pratensis* L. и др.

На ключевом участке II сообщество с доминированием однолетних растений (*Setaria pumila* (Poir.) Schult., *C. album*, *Amaranthus retroflexus* L., *Galinsoga parviflora* Cav.), образовавшееся после прекращения хозяйственной деятельности, к 2008 г. сменилось фитоценозом из многолетних злаков и трав (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *T. vulgare*, *Achillea millefolium* L.). В этом же году впервые зафиксировано присутствие *S. canadensis*. К 2016 г. *S. canadensis* образовал густой монодоминантный травостой высотой 1.5–1.8 м. Из фитоценоза выбыли прежние доминанты – *A. millefolium*, *Betula pendula* Roth. Резко сократилось покрытие и постоянство *A. vulgaris*, *Lupinus polyphyllus* Lindl., *T. vulgare*.

Схожие изменения наблюдали на двух других участках. На участке III с 2005 г. по 2016 г. фитоценоз с доминированием *Oenothera biennis* L., *S. canadensis*, *Phalacrologium annuum* (L.) Dumort. сменился сообществом *S. canadensis*, проективное покрытие которого при этом увеличилось в 30 раз. Некоторые виды исчезли (*Artemisia campestris* L., *Equisetum arvense* L., *Melilotus albus* Medikus, *P. annuum*), а некоторые стали менее обильными (*A. vulgaris*, *C. canadensis*, *O. biennis*). На участке IV за 2006–2018 гг. рудеральное сообщество *A. vulgaris* сменилось монодоминантным травостоем *S. canadensis*. Из состава фитоценоза выбыли рудеральные *E. repens*, *Melandrium album* (Mill.) Garcke, *Tripleurospermum perforatum* (Merat) M. Lainz и луговые *P. pratensis*, *T. pratense*, *Dactylis glomerata* L.

На всех участках общими в составе фитоценозов с доминированием *S. canadensis* были *A. vulgaris*, *C. epigeios*, *T. vulgare* и *Urtica dioica* L., но их покрытие и постоянство были разными. Рост покрытия *S. canadensis* негативно влиял как на местные виды (*A. absinthium*, *A. campestris*, *Chamerion angustifolium* (L.) Holub, *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. и т.д.), так и на чужеродные (*C. canadensis*, *O. biennis*, *P. annuum*).

Вторжение *S. canadensis* во всех случаях вызвало снижение разнообразия (табл. 1): уменьшилось как общее видовое богатство (в 1.3–3 раза), так и видовое богатство аборигенных видов – в 1.3–4.8 раза, в том числе луговых – в 1.6–3.8 раза. Однозначной реакции видового богатства адвентивных видов на вторжение не зафиксировано (на двух участках наблюдалось снижение в 1.1–1.6 раза, а на двух других – увеличение в 1.6–4 раза). Снизились значения индексов разнообразия Симпсона (в 1.1–6.5 раза) и Шеннона (в 1.1–1.7 раза).

Вне ключевых участков сообщества с доминированием *S. canadensis* считали описания с его покрытием более 25%. На заброшенные сельскохозяйственные земли приходится 43% таких описаний, на строительные пустыри – 25%, осталь-

Таблица 1. Динамика показателей разнообразия сообществ на постоянных участках при вторжении *S. canadensis* (размахи между участками)

Показатели	Временные периоды	
	2005–2008 гг.	2016–2018 гг.
Проективное покрытие <i>S. canadensis</i> , %	От менее 1 до 15	Более 50
Число видов на 25 м ² :		
всех	11.3–14.2	4.6–10.2
аборигенных	10.4–11.9	2.4–8.8
адвентивных	0.6–2.4	1.4–2.6
луговых	1.4–4.4	0.0–2.4
Индекс Симпсона	0.72–0.92	0.11–0.75
Индекс Шеннона	2.65–2.92	1.64–2.44

Таблица 2. Видовое богатство сообществ в зависимости от степени доминирования *S. canadensis* (среднее ± SE)

Число видов на 25 м ²	Интервалы проективного покрытия <i>S. canadensis</i> , %			
	<25 (<i>n</i> = 27*)	25–50 (<i>n</i> = 33)	50–75 (<i>n</i> = 39)	>75 (<i>n</i> = 36)
Всех	12.7 ± 0.5	11.3 ± 0.3	9.8 ± 0.3	8.1 ± 0.3
Аборигенных	9.6 ± 0.5	8.3 ± 0.3	7.2 ± 0.3	5.8 ± 0.2
Адвентивных	3.1 ± 0.2	3.0 ± 0.2	2.6 ± 0.2	2.3 ± 0.2
Луговых	2.7 ± 0.5	2.2 ± 0.2	2.5 ± 0.2	1.7 ± 0.2

* Число описаний.

ные описания – это заброшенные карьеры и торфоразработки, лесные вырубki и пойменные луга.

Сообщества с доминированием *S. canadensis* характеризуются высокой степенью синантропизации – от 40 до 90% видов, в среднем 60%, относятся к синантропным классам растительности (*Artemisietea vulgaris*, *Chenopodietea*, *Galio-Urticetea* Passage 1967). Больше всего были представлены виды класса *Artemisietea vulgaris* (10–40%). Доля чужеродных видов в описаниях составляет 10–70%, в среднем 27%.

Для выяснения влияния *S. canadensis* на видовое богатство все описания были сгруппированы по величине его проективного покрытия (табл. 2). Видно, что по мере роста покрытия *S. canadensis* закономерно снижаются все рассматриваемые показатели: общее видовое богатство уменьшается в 1.57 раза, богатство аборигенных видов – в 1.66 раза, адвентивных видов – в 1.35 раза. Изменяется доля адвентивных видов в общем видовом богатстве (с 24.4 до 28.4%). Проверка статистической значимости различий (по *t*-критерию Стьюдента) показала, что достоверные различия наблюдаются только в единичных случаях (между 1-й и 4-й группами из табл. 2 по общему и аборигенному видовому богатству).

Значения коэффициента корреляции Спирмена составили: для общего видового богатства $r_s = -0.62$ ($P < 0.0001$); для богатства аборигенных видов $r_s = -0.49$ ($P < 0.0001$); для богатства адвентивных видов $r_s = -0.34$ ($P < 0.0001$). Отсутствует достоверная корреляция с видовым богатством луговых видов, что, вероятно, связано с их низкой долей в изученных сообществах, которые в большинстве относятся к классу *Artemisietea vulgaris*.

Несмотря на многочисленные и разноаспектные исследования *S. canadensis*, работы по количественному анализу и оценке влияния этого вида на видовое разнообразие растительных сообществ редки [24]. Такая оценка затруднена, поскольку *S. canadensis* вторгается преимущественно в нарушенные местообитания, в которых видовое богатство изменяется в широких пределах и зависит от таких факторов, как предшествующая история нарушений, уровень современных нарушений, условия заноса диаспор и др. Исследования, аналогичные нашему, проводились для природных и полуприродных сообществ в западном Китае [24], Швейцарии [25] и Словении [26] (везде климат – переходный от умеренного к субтропическому). В условиях более холодного и континентального по сравнению с вышеуказанными регионами климата, характерного для территории Беларуси, оценка влияния *S. canadensis* на видо-

вое богатство фитоценозов не проводилась, что обуславливает географическую новизну полученных данных.

Исходя из наших результатов, влияние *S. canadensis* на общее видовое богатство сообществ и его составляющие (аборигенные, адвентивные, луговые виды) имеет место. По градиенту проективного покрытия *S. canadensis* закономерно изменяются все рассмотренные показатели. При этом реакции, наблюдаемые во временном градиенте на постоянных участках и при описании разрозненных участков, в основных позициях совпадают. Таким образом, первая гипотеза полностью подтвердилась. Статистически значимая связь выявлена между проективным покрытием *S. canadensis* и показателями общего и аборигенного видового богатства синантропных сообществ, что частично подтверждает вторую гипотезу. Полученные результаты не противоречат исследованиям, выполненным в других регионах [24].

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Б20Р-090).

Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шварц Е.А. Сохранение биоразнообразия: сообщества и экосистемы. М.: Тов-во научных изд. КМК, 2004. 112 с.
2. Rodriguez C.F., Bécares E., Fernández-Aláez M., Fernández-Aláez C. Loss of diversity and degradation of wetlands as a result of introducing exotic crayfish // Biol. Invasions. 2005. V. 7. P. 75–85.
3. Ward J.M., Ricciardi A. Impacts of *Dreissena* invasions on benthic macroinvertebrate communities: a meta-analysis // Divers. Distrib. 2007. V. 13. P. 155–165.
4. Hulme P.E. Plant invasions in New Zealand global lessons in prevention, eradication and control // Biol. Invasions. 2020. V. 22. P. 1539–1562.
5. Stohlgren T., Jarnevich C., Chong G.W., Evangelista P.H. Scale and plant invasions: A theory of biotic acceptance // Preslia. 2006. V. 78. P. 405–426.
6. Gaertner M., Den Breeyen A., Hui C., Richardson D.M. Impacts of alien plant invasions on species richness in Mediterranean-type ecosystems: a meta-analysis // Prog. Phys. Geog. 2009. V. 33. № 3. P. 319–338.
7. Hejda M., Pysek P., Jarosík V. Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities // J. Ecol. 2009. V. 97. P. 393–403.
8. Powell K.I., Chase J.M., Knight T.M. A synthesis of plant invasion effects on biodiversity across spatial scales // Amer. J. Bot. 2011. V. 98. № 3. P. 539–548.
9. Veselkin D.V., Dubrovin D.I. Diversity of the grass layer of urbanized communities dominated by invasive *Acer negundo* // Rus. J. Ecol. 2019. V. 50. № 5. P. 413–421. <https://doi.org/10.1134/S1067413619050114>
10. Xu Z., Peng H., Feng Z., Abdulsalich N. Predicting current and future invasion of *Solidago canadensis*: A study from China // Pol. J. Ecol. 2014. V. 62. P. 263–271.
11. Bielecka A., Borkowska L., Królak E. Environmental changes caused by the clonal invasive plant *Solidago canadensis* // Ann. Bot. Fen. 2019. V. 57. P. 33–48.
12. Dong L.-J., He W.-M. The relative contributions of climate, soil, diversity and interactions to leaf trait variation and spectrum of invasive *Solidago canadensis* // BMC Ecol. 2019. V. 19. <https://doi.org/10.1186/S12898-019-0240-1>
13. Skorka P., Lenda M., Tryjanowski P. Invasive alien goldenrods negatively affect grassland bird communities in Eastern Europe // Biol. Conserv. 2010. V. 143. P. 856–861.
14. Moron D., Lenda M., Skorka P. et al. Wild pollinator communities are negatively affected by invasion of alien goldenrods in grassland landscapes // Biol. Conserv. 2009. V. 142. P. 1322–1332.
15. Dong L.-J., Sun Z.-K., Gao Y., He W.-M. Two-year interactions between invasive *Solidago canadensis* and soil decrease its subsequent growth and competitive ability // J. Plant. Ecol. 2015. V. 8. P. 617–622.
16. Betekhtina A.A., Mukhacheva T.A., Kovalev S.Yu. et al. Abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in invasive *Solidago canadensis* and indigenous *S. virgaurea* // Rus. J. Ecol. 2016. V. 47. № 6. P. 605–609. <https://doi.org/10.1134/S1067413616060035>
17. Gusev A.P. The Impact of Invasive Canadian Goldenrod (*Solidago canadensis* L.) on Regenerative Succession in Old Fields (the Southeast of Belarus) // Rus. J. of Biological Invasions. 2015. V. 6. № 2. P. 74–77. <https://doi.org/10.1134/S2075111715020034>
18. Gusev A.P. Inhibition of Restorative Succession by Invasive Plant Species: Examples from Southeastern Belarus // Rus. J. Ecol. 2017. V. 48. № 4. P. 321–325. <https://doi.org/10.1134/S1067413617040087>
19. Gusev A.P. The Invasion of Canadian Goldenrod (*Solidago canadensis* L.) into Anthropogenic Landscapes of Belarus // Rus. J. Biol. Invasions. 2018. V. 9. № 1. P. 22–28. <https://doi.org/10.1134/S2075111718010083>
20. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. М.: Логос, 2002. 264 с.
21. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Wien, New York: Springer-Verlag, 1964. 865 S.
22. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
23. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
24. Dong L.-J., Yu H., He W.-M. What determines positive, neutral, and negative impact of *Solidago canadensis* invasion on native plant species richness? // Sci. Rep-UK. 2015. V. 5. P. 1–9.
25. Künzi Y., Prati D., Fischer M., Boch S. Reduction of native diversity by invasive plants depends on habitat conditions // Amer. J. Plant. Sci. 2015. V. 6. P. 2718–2733.
26. de Groot M., Kleijn D., Jogan N. Species groups occupying different trophic levels respond differently to the Invasion of semi-natural vegetation by *Solidago canadensis* // Biol. Conserv. 2007. V. 136. P. 612–617.