
ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

© А.П. ГУСЕВ
gusev@gsu.by

УДК 911.2+504.54

РАСТИТЕЛЬНЫЕ ИНВАЗИИ И ИНДИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛАНДШАФТА

АННОТАЦИЯ. Целью исследований являлось изучение инвазионных процессов в растительном покрове как индикатора состояния ландшафтов (на примере юго-востока Белоруссии). Дифференциация ландшафтов по адвентивации нелесного растительного покрова выражена слабо. Существенные различия между ландшафтами проявляются в адвентивации лесного растительного покрова. Установлена корреляционная связь между растительными инвазиями и уровнем антропогенной трансформации ландшафта. Выявлено, что наибольшую значимость имеют два фактора — коэффициент экологической стабильности ландшафта и расстояние до ближайших климаксовых экосистем. Эти факторы в существенной степени контролируют инвазии в растительном покрове. Таким образом, подверженность растительного покрова в данной точке инвазиям зависит от антропогенной трансформации окружающих геосистем. Изучена распространенность 17 инвазионных видов в природных и антропогенных ландшафтах юго-востока Белоруссии (*Coryza canadensis* (L.) Cronqist, *Oenothera biennis* L., *Acer negundo* L. и другие). Успешность инвазий в лесном ландшафте зависит от его фрагментации. Наибольшая встречаемость инвазионных видов характерна для лесных массивов с площадью менее 0,1 км². Предложены критерии оценки риска растительных инвазий в природно-антропогенных ландшафтах (показатели антропогенной трансформации и фрагментации).

SYMMARY. Purpose of researches was studying invasion processes in a plant cover as indicator of a condition of landscapes (on an example of the southeast of Belarus). Differentiation of landscapes on the invasibility not forest cover is shown poorly. Essential distinctions between landscapes are shown in the invasibility of a forest cover. Correlation communication plants invasions with level of anthropogenic transformation of landscape is revealed. It is revealed that two factors — coefficient of ecological stability of a landscape and distance to the nearest climax ecosystems have the greatest importance. These factors in essential degree supervise invasion spread across landscape. Thus, susceptibility of plant cover in the given point invasion spread depends on anthropogenic transformation of surrounding geosystems. Prevalence 17 alien vascular plants in anthropogenic and natural landscapes of the southeast of Belarus is studied (*Coryza canadensis* (L.) Cronqist, *Oenothera biennis* L., *Acer negundo* L. and others). Success invasion in a forest landscape depends on its fragmentation. The greatest occurrence alien plants is characteristic for large forests with the area less than 0,1 km². Criteria of assessment of invasion risk on natural and anthropogenic landscapes are offered (indicators of anthropogenic transformation and fragmentation).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Ландшафт, растительный покров, адвентивные виды, инвазия, антропогенная трансформация.

KEY WORDS. Landscape, plant cover, alien plants, invasion, anthropogenic transformation.

Адвентивный элемент флоры (alien plants, exotic plants, introduced plants, nonnative plants, nonindigenous plants) чаще всего определяется как совокупность видов растений, не свойственных местной флоре, занос которых является результатом прямой или косвенной деятельности человека. Для обозначения наиболее агрессивных заносных растений, которые могут изменять характеристики экосистем на значительной территории, предложен термин — трансформер [1].

Внедрение (инвазия) агрессивных чужеродных видов является в настоящее время значительной частью глобальных изменений биосферы и часто ведет к существенным потерям биологического разнообразия. Иногда это внедрение может наносить значительный экономический ущерб и даже представлять опасность для здоровья людей [1-2]. Инвазионные виды вызывают серьезные экологические последствия, причиняя существенный вред экосистемам, которые могут быть изменены вплоть до полного исчезновения природных видов, при этом наибольшей угрозе подвергаются редкие и эндемичные виды [3-4].

Анализ данных по последствиям инвазий растений и животных свидетельствует о принципиальной возможности блокировки сукцессионных процессов чужеродными для них видами, которые в исторически значимые сроки могут привести к исчезновению пространственно доминирующих растительных сообществ. Установлены существенные различия в глубине и механизмах трансформации экосистем под воздействием инвазий в зависимости от природно-ландшафтных условий. Наиболее значительные негативные для хода естественных сукцессий последствия отмечаются на тропических и субтропических островах, наименее значительные — в материковых бореальных сообществах [5]. Массовые успешные инвазии рассматриваются как признак экологического кризиса. В предельной ситуации в результате внедрения новых видов в ход первичных или вторичных сукцессий можно ожидать широкомасштабную блокировку сукцессионной системы ландшафта [5-6].

Деградация потенциала самовосстановления геосистем ведет к росту риска инвазий: чем ниже потенциал самовосстановления геосистемы, тем выше вероятность массового вторжения в нее чужеродных видов. Инвазии адвентивных видов являются индикатором снижения потенциала самовосстановления геосистем [7].

Несмотря на важность проблемы, критерии оценки риска инвазий в условиях природных и природно-антропогенных ландшафтов слабо разработаны. Целью наших исследований являлось изучение инвазионных процессов в растительном покрове как индикатора состояния ландшафтов (на примере юго-востока Белоруссии). Решались следующие задачи: изучение адвентизации растительности природных и природно-антропогенных ландшафтов юго-востока Белоруссии; исследование распространенности наиболее агрессивных инвазионных видов растений; выяснение зависимости инвазий от антропогенных изменений ландшафтов; разработка критериев оценки риска инвазий.

Методы исследований. Исследования проводились на территории юго-востока Белоруссии (восточная часть Полесской провинции аллювиальных террасированных, болотных и вторичных водно-ледниковых ландшафтов и Предполесской провинции вторичных водно-ледниковых и моренно-зандровых ландшафтов). Модельный район охватывает основные рода природных ландшафтов: пойменный (17,6% территории), вторичный водно-ледниковый (22,3%), моренно-зандровый (22,4%) и аллювиальный террасированный (37,7%).

Климатические особенности района исследований: средняя температура самого холодного месяца (январь) — -7°C ; средняя температура самого теплого месяца (июль) — $+18,5^{\circ}\text{C}$; годовая сумма температур выше 10° — 2479; годовое количество осадков — 630 мм; коэффициент увлажнения — 1,33. По гидротермическим показателям территория относится к суббореальным гумидным (широколиственно-лесным) ландшафтам.

Полевые работы выполнялись на ключевых участках (всего 582 участка в лесных и нелесных геосистемах) и включали: геоботаническую съемку по общепринятой методике [8]; определение показателей антропогенного воздействия; выяснение природно-ландшафтных условий (тип почв, состав почвообразующих пород, глубина залегания грунтовых вод, проявления современных геологических процессов). Исследовались геосистемы с растительным покровом, имеющим различный сукцессионный статус (от пионерного до поздне-сукцессионного).

Для оценки антропогенной трансформации геосистем использовались показатели: K_c — коэффициент экологической стабильности; R_k — расстояние до ближайших климаксовых экосистем; S_i — площадь сплошного лесного массива.

Коэффициент экологической стабильности (K_c) определялся в скользящем квадрате размером 1×1 км (центр квадрата — ключевой участок) по формуле $K_c = \sum s_i \cdot k_i \cdot g$, где s_i — удельная площадь вида землепользования; k_i — экологическая значимость этого вида землепользования; g — коэффициент геолого-геоморфологической устойчивости рельефа. Стабильность ландшафта оценивают по следующей шкале: K_c менее 0,33 — очень низкая; $K_c = 0,34-50$ — низкая; $K_c = 0,51-0,66$ — средняя; $K_c = 0,67-1$ — высокая. В случае отрицательного значения K_c данная геосистема рассматривается как источник нестабильности более крупных территорий [10].

В качестве критериев оценки адвентизации растительного покрова предложены показатели:

AD_1 — доля адвентивных видов от общего числа видов флоры (% от числа всех видов); характеризует степень адвентизации флоры;

AD_2 — доля адвентивных видов в покрытии (% от общего проективного покрытия); характеризует эколого-ценотическое значение адвентивных видов в растительном покрове;

AD_3 — доля адвентивных видов деревьев от общего числа древесных видов;

AD_4 — доля адвентивных видов деревьев от общей численности естественного возобновления; характеризует эколого-ценотическое значение адвентивных деревьев, их способность к самовоспроизводству.

Статическая обработка (методы непараметрической статистики, метод множественной регрессии) выполнялась с помощью программного пакета STATISTICA 6.0.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследований были изучены показатели адвентизации растительного покрова ландшафтов юго-востока Белоруссии (табл. 1). Из табл. 1 видно, что рассматриваемые ландшафты существенно отличаются по уровню антропогенной трансформации. Наименьшая трансформация характерна для аллювиального террасированного ландшафта, наибольшая — для моренно-зандрового ландшафта.

Таблица 1

Показатели антропогенной трансформации и адвентизации растительного покрова ландшафтов

Показатель	Ландшафт			
	АТ	ВВЛ	П	МЗ
Коэффициент экологической стабильности (K_c)	0,43	0,39	0,34	-0,04
Средняя площадь сплошного лесного массива, км ²	1,44	2,33	0,29	0,10
Лесистость, %	52,1	39,6	9,5	4,9
Распаханность, %	15,8	48,3	11,5	37,8
Застроенные и нарушенные земли, %	15,6	6,7	8,9	47,3
Адвентизация нелесного растительного покрова, %				
АД ₁	16,9±1,3	29,5±3,9	21,5±2,2	20,1±1,1
АД ₂	21,0±2,3	30,1±9,3	24,4±3,5	23,3±2,0
АД ₃	19,5±4,9	12,5±3,3	15,4±6,1	35,6±7,1
АД ₄	21,6±5,2	10,6±2,1	16,1±6,7	38,2±7,6
Адвентизация лесного растительного покрова, %				
АД ₁	2,2±0,3	1,9±0,6	7,1±2,1	12,2±2,4
АД ₂	2,2±0,6	1,2±0,7	6,1±2,1	8,1±2,8
АД ₃	5,3±0,9	7,1±2,4	14,3±5,8	43,4±8,6
АД ₄	6,5±1,3	9,6±3,5	16,6±7,1	40,0±9,0

АТ — аллювиальный террасированный; ВВЛ — вторичный водноледниковый; П — пойменный; МЗ — моренно-зандровый

Дифференциация ландшафтов по адвентизации нелесного растительного покрова проявляется слабо. Так, например, значения показателей АД₁ и АД₂ близки во всех ландшафтах. Значительное увеличение значений АД₃ и АД₄ характерно для моренно-зандрового ландшафта. Существенные различия между ландшафтами проявляются в адвентизации лесного растительного покрова. Видно, что лесной покров моренно-зандрового ландшафта отличается резким ростом адвентизации.

Установлена достоверная корреляционная связь показателей адвентизации растительного покрова с характеристиками антропогенной трансформации геосистем (табл. 2). Для выяснения факторов, детерминирующих показатели адвентизации, был использован метод множественной регрессии. В качестве независимых факторов были приняты: K_c , Sl, Pk, Ts (время от начала сукцессии, лет),

ПВ (показатель пирогенного воздействия — высота нагара на стволах деревьев, м). Было установлено, что наибольшую значимость имеют два фактора — K_c и R_k , которые в существенной степени контролируют адвентизацию растительного покрова. Исходя из полученных результатов, адвентизация растительного покрова в данной точке зависит прежде всего от антропогенной трансформации окружающих геосистем.

Таблица 2

Корреляционная связь показателей адвентизации с характеристиками антропогенной трансформации ландшафта (коэффициент корреляции Спирмена, $p < 0,05$)

Показатель	K_c	Sl	R_k	T_s
AD_1	-0,65	-0,48	0,51	-0,69
AD_2	-0,60	-0,42	0,47	-0,68
AD_3	-0,12	-0,39	0,19	н.д.
AD_4	-0,11	-0,39	0,19	н.д.

Примечание. K_c — коэффициент экологической стабильности; Sl — величина сплошного лесного массива; R_k — расстояние до ближайших климаксовых экосистем; T_s — время от начала сукцессии; н.д. — значения коэффициента корреляции не достоверны ($p > 0,05$).

В ходе исследований было изучено распространение 17 инвазионных видов (из них 13 имеют североамериканское происхождение) в ландшафтах юго-востока Белоруссии. Наиболее широко распространены три вида — *Conyza canadensis* (L.) Cronqist, *Oenothera biennis* L. и *Acer negundo* L. (присутствуют на 10-30% ключевых участков). Встречаемость 5-10% имеют *Amaranthus retroflexus* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Galinsoga parviflora* Cav., *Xanthoxalis stricta* (L.) Small, *Stenactis annua* (L.) Cass., *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A. Gray. Остальные виды имеют встречаемость ниже 5%. Из рассматриваемых видов к группе трансформеров, т.е. инвазивных растений, которые могут влиять на функционирование и динамику экосистем, относятся *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronqist, *Solidago canadensis* L., *Impatiens glandulifera* Royle, *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A. Gray. По степени натурализации 13 видов относятся к агрофитам, 4 — к эпекофитам.

Инвазиям в наибольшей степени подвержены начальные стадии сукцессий. Так, например, на пионерной стадии показатели адвентизации растительного покрова имеют максимальные значения ($AD_1=28,0\%$; $AD_2=38,0\%$; $AD_3=60,0\%$; $AD_4=60,0\%$). В сообществах пионерной стадии встречаемость *Conyza canadensis* (L.) Cronqist составляет 72,2%, *Amaranthus retroflexus* L. — 47,4%, *Galinsoga parviflora* Cav. (37,1%), *Oenothera biennis* L. (19,6%) и т.д. Для сообществ бурьянистой стадии характерны *Oenothera biennis* L. (56,7%), *Conyza canadensis* (L.) Cronqist (51,1%), *Stenactis annua* (L.) Cass. (15,6%), *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A. Gray (12,2%), *Solidago canadensis* L. (10,3%). Для сообществ луговой стадии — *Oenothera biennis* L. (49,4%), *Conyza canadensis* (L.) Cronqist (26,9%), *Stenactis annua* (L.) Cass. (14,6%), *Lupinus polyphyllus* Lindl. (9,0) и т.д. Несмотря на активное распространение в нелесных сообществах, способность инвазионных видов блокировать сукцессионный процесс

в условиях ландшафтов юго-востока Белоруссии ограничена и наблюдается лишь в единичных случаях. Например, исходя из имеющихся данных, задержку сукцессии на нелесных стадиях вызывает развитие зарослей *Impatiens glandulifera* Royle и *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen.

В лесных геосистемах адвентизация растительного покрова существенно уменьшается (на стадии раннесукцессионного леса: $AD_1=3,8\%$; $AD_2=3,3\%$; $AD_3=10,5$; $AD_4=12,0\%$), резко сокращается количество инвазионных видов. В лесных сообществах отмечено распространение *Acer negundo* L., *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim., *Robinia pseudoacacia* L., *Impatiens glandulifera* Royle, *Impatiens parviflora* DC. Здесь отсутствуют или встречаются единично *Amaranthus retroflexus* L., *Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Galinsoga parviflora* Cav., *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen., *Lepidotheca suaveolens* (Pursh) Nutt.

В климаксовых и субклимаксовых геосистемах показатели адвентизации имеют минимальные значения ($AD_1=0,8\%$; $AD_2=0,5\%$; $AD_3=1,7\%$; $AD_4=1,6\%$), а инвазионные виды встречаются единично.

Успешность инвазий в лесной ландшафт зависит от его фрагментации. Наибольшая встречаемость инвазионных видов характерна для лесных массивов с площадью менее 0,1 км². В лесных массивах с площадью более 1 км² встречаемость инвазионных видов резко сокращается (табл. 3). По сравнению с лесными геосистемами, имеющими площадь менее 0,1 км², в лесных массивах с площадью более 10 км² встречаемость *Impatiens parviflora* DC. уменьшается в 7 раз, *Conyza canadensis* (L.) Cronqist — в 9,9 раза, *Acer negundo* L. — 3,8 раза, *Robinia pseudoacacia* L. — 14,9 раза, *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. — 6,3 раза и так далее. Многие инвазионные виды, присутствующие в сильно фрагментированных лесных геосистемах, отсутствуют в массивах, имеющих площадь более 10 км² (*Oenothera biennis* L., *Galinsoga parviflora* Cav., *Impatiens glandulifera* Royle, *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A. Gray, *Solidago canadensis* L.). Наиболее значительные изменения в распространенности инвазионных видов происходят при увеличении площади лесного массива более 1 км² (табл. 3). На этом рубеже встречаемость почти всех рассматриваемых видов уменьшается в несколько раз, а ряд видов исчезает.

Установлена достоверная корреляционная связь между величиной проективного покрытия инвазионных видов и характеристиками антропогенной трансформации ландшафта. С величиной K_c отрицательно коррелирует покрытие *Conyza canadensis* (L.) Cronqist (коэффициент корреляции Спирмена составляет -0,42), *Oenothera biennis* L. (-0,26), *Galinsoga parviflora* Cav. (-0,25), *Amaranthus retroflexus* L. (-0,25), *Lepidotheca suaveolens* (Pursh) Nutt. (-0,19). С величиной лесного массива отрицательно коррелирует покрытие *Conyza canadensis* (L.) Cronqist (-0,24), *Oenothera biennis* L. (-0,24), *Galinsoga parviflora* Cav. (-0,12), *Impatiens parviflora* DC. (-0,17), *Impatiens glandulifera* Royle (-0,18), *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A. Gray (-0,23). С увеличением расстояния до климаксовых геосистем достоверно возрастает покрытие *Conyza canadensis* (L.) Cronqist (0,20), *Oenothera biennis* L. (0,13), *Galinsoga parviflora* Cav. (0,21), *Solidago canadensis* L. (0,18), *Lupinus polyphyllus* Lindl. (0,24), *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A. Gray (0,14).

Таблица 3

**Распространенность инвазионных видов в лесном ландшафте
при различном уровне антропогенной трансформации
(в % от общего количества ключевых участков)**

Показатель	AN	RP	CC	OB	GP	EL	XS
Коэффициент экологической стабильности ландшафта (К _c)							
>0,67 (n=182)	8,2	2,7	1,6	1,6	0	1,1	1,6
0,5-0,67 (n=43)	30,2	9,3	4,7	2,3	0	2,3	11,6
0,33-0,5 (n=33)	36,4	21,2	6,1	15,2	0	0	12,1
<0,33 (n=43)	30,2	23,3	25,6	14,0	7,0	14,0	7,0
Площадь лесного массива, км ²							
>10 (n=95)	10,5	2,1	2,1	0	0	0	4,2
1-10 (n=101)	8,9	2,0	1,0	2,0	0	1,0	0
0,1-1 (n=57)	26,3	12,3	8,8	12,2	1,8	0	10,5
<0,1 (n=48)	39,6	31,3	20,8	12,5	4,2	16,7	10,4

Примечание. AN — *Acer negundo* L.; RP — *Robinia pseudoacacia* L.; CC — *Coryza canadensis* (L.) Cronqist; OB — *Oenothera biennis* L.; GP — *Galinsoga parviflora* Cav.; EL — *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A. Gray; XS — *Xanthoxalis stricta* (L.) Small.

Покрытие всех рассматриваемых инвазионных видов отрицательно коррелирует с возрастом геосистемы (исключение составляют только *Impatiens parviflora* DC. и *Impatiens glandulifera* Royle).

Для условий суббореальных гумидных (широколиственно-лесных) ландшафтов риск нарушения лесных экосистем, связанный с инвазиями адвентивных видов растений, маловероятен. Успешные инвазии возможны при значительном уровне антропогенной нагрузки, вызывающем деградацию потенциала самовосстановления природных геосистем. В этом случае внедрение некоторых адвентивных видов может иметь экономические и санитарно-гигиенические последствия.

Риск инвазий в лесной ландшафт возрастает при увеличении его фрагментации (в наибольшей степени инвазиям подвержены лесные сообщества, имеющие площадь менее 1 км²). При прочих равных условиях способность природных сообществ противостоять внедрению адвентивных видов зависит от уровня антропогенной нарушенности окружающих геосистем: чем значительнее по глубине и площади нарушения, тем выше риск инвазий. Риск инвазий можно оценить с помощью критериев, указанных в табл. 4.

Таблица 4

Критерии оценки риска инвазий

Показатель	Риск инвазий		
	Высокий	Средний	Незначительный
К _c	<0,33	0,33-0,67	>0,67
Средняя площадь лесного массива, км ²	<1	1-10	>10

Таким образом, адвентизация растительного покрова может служить индикатором экологического состояния ландшафта: зоны с высокой адвентизацией и высокой концентрацией инвазионных видов указывают на значительное снижение устойчивости природных геосистем, трансформацию режима функционирования, являются признаком нарушения экологического равновесия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М.: ГЕОС, 2009. 494 с.
2. Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R., Morrison, D. Environmental and economic cost of nonindigenous species in the United States // Bioscience. 2001. Vol. 50. №1. P. 53-65.
3. Элтон Ч.С. Экология нашествий животных и растений. М.: Изд-во иностр. литературы, 1960. 231 с.
4. Williamson, M. Biological Invasions. London: Chapman & Hill., 1996. 244 p.
5. Шварц Е.А. Сохранение биоразнообразия: сообщества и экосистемы. М.: Т-во научных изданий КМК, 2004. 112 с.
7. Жерихин В.В. Избранные труды по палеоэкологии и филогенетике. М.: Т-во научных изданий КМК, 2003. 542 с.
8. Гусев А.П. Потенциал самовосстановления геосистем и его оценка на основе фитоиндикации // Вестник Белорусского государственного университета. 2010. Сер. 2. № 1. С. 77-81.
9. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности: Учебник. М.: Логос, 2002. 264 с.
10. Агроэкология / Под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. М.: Колос, 2000. 536 с.