

УДК 502.7:632.51

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ

© 2017 Тохтарь В.К.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85;
e-mail: tokhtar@bsu.edu.ru

Поступила в редакцию 14.11.2017

В статье анализируются и обобщаются результаты применения различных подходов к визуализации данных при изучении чужеродных видов растений и перспективность их использования для разных целей. Опыт исследований чужеродных видов растений свидетельствует о том, что традиционные методы анализа их состава и особенностей распространения в различных регионах информативны лишь для определения основных тенденций, отражающих глобальные процессы синантропизации фитобиоты. В то же время для выявления внутренних, скрытых закономерностей миграции растений и процессов их натурализации необходимо использование новых современных методов.

Наиболее перспективными подходами для анализа больших объёмов данных являются методы многомерной статистики. Перспективы этих методов определяются возможностью выявления взаимосвязей между широким спектром флористических, биологических данных и характеристик среды, которые могут быть визуализированы. Они позволяют представить различные данные в виде диаграмм, отражающих взаимодействие отдельных видов и целых групп чужеродных растений с природно-климатическими или экологическими переменными. Эти методы дают возможность создавать модели распространения инвазионных видов. Они отражают текущие статистические расстояния и взаимосвязи между различными объектами исследования, что даёт возможность определить особенности групповой стратегии колонизации чужеродными видами различных природных и/или техногенных местообитаний. Эти стратегии зависят, в первую очередь, от биологических характеристик видов, уровня антропогенной трансформации флоры и параметров окружающей среды.

Ключевые слова: инвазии, чужеродные виды, методы многомерной статистики, визуализация данных.

Введение

Влияние чужеродных организмов на флору, фауну и, в целом, на общество приобретает глобальное значение, поскольку в настоящее время проблемы, связанные с их распространением в мире, могут быть решены лишь на международном уровне. Экспансия неаборигенных организмов происходит вне всяких границ, поэтому локальные меры уже не могут принести позитивные результаты и требуют усилий международных организаций [Тохтарь, 2016]. Экономический ущерб от инвазионных видов огромен. В результате инвазии

заносных видов США ежегодно теряют 137 млрд, Индия – 117 млрд, а Бразилия – 50 млрд долларов [Виноградова и др., 2010].

Занос и распространение чужеродных видов несёт прямую угрозу существованию местных видов, а потери урожая от сорных видов, многие из которых являются адвентивными – составляют от 9 до 30%. Биологическое вторжение чужеродных видов растений носит глобальный характер и ведёт к сокращению естественного биоразнообразия. Кроме того, актуальность изучения неаборигенных видов определяется тем, что они являются либо хозяй-

ственно ценными, либо вредными инвазионными видами, вытесняющими местные аборигенные. Поэтому в настоящее время одной из наиболее важных теоретических задач в исследовании чужеродных видов растений является определение основных закономерностей их распространения в зависимости от комплекса природных и антропогенных факторов. Решение этой задачи может быть существенно упрощено при использовании методов, позволяющих визуализировать значительные объёмы разнородных данных. В статье анализируются и обобщаются результаты применения и перспективность использования для разных целей различных подходов анализа и визуализации данных при изучении чужеродных видов растений.

Материал и методика

Модельными объектами исследования были как отдельные, наиболее широко распространённые на различных континентах виды: *Ambrosia artemisiifolia* L., *Conyza canadensis* L., виды рода *Oenothera* L. (subsect. *Oenothera*, Onagraceae), так и целые группы чужеродных видов, мигрирующие в различные типы природных и антропогенно нарушенных местообитаний. Первые два вида отличаются широкой экологической амплитудой, которую они проявляют в процессе интерконтинентальных инвазий. Виды энотер не только интенсивно распространяются в Европе, но и характеризуются интенсивными видообразовательными и микроэволюционными процессами, происходящими в их популяциях [Renner, 1917; Hudziok, 1968; Gutte, Rostanski, 1971; Soldano, 1979; Jehlik, Rostanski, 1995]. Поэтому род является удобной моделью, позволяющей проследить особенности распространения и микроэволюции различных филогенетически обособленных групп растений в Европе [Tokhtar et al., 2011].

В ходе проведённых исследований чужеродных видов был обобщён обширный оригинальный, литературный и гербарный материал по хорологии видов энотер в Западной и Восточной Европе, распространению *Ambrosia artemisiifolia*, *Conyza canadensis* в различных

частях Европы. Были изучены многочисленные локалитеты растений в Германии (федеральные земли Северный Рейн-Вестфалия, Гессен, Баден-Вюртенберг), во Франции (Эльзас) [Wittig et al., 1999; Wittig, Tokhtar, 2002; 2003], в Чехии, Словакии, Польше, Украине и России [Rostanski et al., 2004]. Проанализированы материалы гербариев Ботанического института РАН (г. Санкт-Петербург, LE), Главного ботанического сада РАН (г. Москва, МНА), Московского государственного университета (г. Москва, MW), Московского педагогического университета (г. Москва, MOSP), Южного федерального университета (г. Ростов, Россия, RV), Института ботаники НАН Украины (г. Киев, Украина, KW), Донецкого ботанического сада НАН Украины (г. Донецк, Украина, DNZ), Силезского университета (г. Катовице, Польша, KTU), Института ботаники Чешской Академии наук (г. Пругонице, Чехия, PR), ботанического сада Берлин-Далем (г. Берлин, Германия, B), Секенбергианум музея (г. Франкфурт-на-Майне, Германия, SNG), Природного музея (г. Висбаден, Германия).

При изучении распространения чужеродных видов в природных и техногенных местообитаниях на юго-западе Среднерусской возвышенности были опробованы как традиционные методы флорогенетического анализа, так и методы многомерной статистики, в частности, дискриминантный, факторный анализы, анализ главных компонент, анализ соответствий и анализ соответствия канонических корреляций [Чибрик, 1991; Ter Braak, 1995; Тохтарь, 2016; Tokhtar et al., 2017]. Анализ корреляционных структур морфологических признаков проводился согласно методам, разработанным Н.С. Ростовской [2000].

Оценку списков чужеродных видов растений в техногенных и природных местообитаниях проводили на основе корреляционных матриц с рассчитанными для каждой пары флор коэффициентами Жаккара или коэффициентами ранговой корреляции Спирмена, если оценивались растительные сообщества и обилие в них видов. Данные визуализировали путём размещения созданных корреляционных матриц в факторном пространстве. Они

обрабатывались с помощью современных пакетов компьютерных программ Microsoft Excel XP, Statistica 6.0, Canoco for Windows 4.02, CanoDraw 3.1., CanoPost 1.0.

Результаты и обсуждение

В настоящее время в мире разработано значительное количество методов оценки процессов адвентизации растительного покрова и инвазионного успеха чужеродных видов. Одни из них основаны на традиционных подходах, которые представляют собой результаты таксономического и типологического анализа структур инвазионных фракций флор, другие – на статистическом анализе данных.

Применение тех или иных методов, используемых при изучении инвазий растений, определяется общей постановкой задачи, а также масштабом исследований. К сожалению, во многих российских публикациях по выявлению чужеродных видов растений задача определения факторов обычно не ставится.

Многие распространённые пространственно-статистические методы изучения чужеродных видов, например, ГИС-моделирование, Bioclim, Domain, основаны на вероятностном, потенциальном нахождении того или иного вида в новых местообитаниях в зависимости от пригодности климатических условий этих участков для его произрастания. Так, исследование *Ambrosia artemisiifolia* L., основанное на этом принципе, позволило построить две, несколько различающиеся, прогнозные модели распространения этого вида в Европе [Pasierbicki et al., 2011]. Неточность таких моделей определяется тем, что успех внедрения чужеродных видов в растительные сообщества зависит в значительной мере и от конкурентных способностей растений, взаимосвязей компонентов сообщества, инвазibilityности местных фитоценозов [Pasierbicki et al., 2011]. Модели, основанные только на климатических параметрах, также не учитывают воздействие антропогенных факторов, хотя во многих случаях оно оказывает решающее влияние на характер и интенсивность распространения видов. Таким образом, можно гово-

рить о том, что климатическое моделирование ареала чужеродных видов позволяет определить лишь потенциальные способности растения к распространению и, в ряде случаев, приводит к разным результатам. Поэтому создание моделей, основанных только на этом принципе, требует избирательного и осторожного подхода.

Большое значение в объяснении особенностей распространения чужеродных видов и построении прогностических моделей инвазий приобретает разработка и использование способов визуализации данных. Выбор способов визуализации данных при изучении распространения чужеродных видов зависит от:

1. Объектов исследования. Это могут быть: а) отдельные виды; б) аффилированные, родственные группы видов (таксоны); в) группы сопряжённо мигрирующих видов, несвязанных между собой филогенетически;

2. Градиента анализа: географический или экологический (например, процессы колонизации адвентивными видами экотопов вдоль градиента «техногенные – природные местообитания» или наоборот, если необходимо выявить особенности их распространения в различные типы, например, в токсичные техногенные экотопы);

3. задач по созданию конкретной модели распространения видов.

Анализ полученных нами результатов исследований показывает, что механизмы инвазий чужеродных видов могут быть раскрыты при сочетании традиционных и статистических методов исследования, которые дополняют друг друга и позволяют визуализировать сложные и многосторонние взаимосвязи эколого-биологических особенностей видов, природно-климатических и экологических факторов среды [Тохтарь, Фомина, 2011].

Визуализация морфологических различий между географически удалёнными популяциями одного вида может быть успешно достигнута при использовании дискриминантного анализа, который применяется для этих целей достаточно часто.

При изучении подобных различий в структурах локальных популяций одного региона,

которые формируются вдоль экологически обусловленных градиентов, перспективным для использования является метод главных компонент, позволяющий визуализировать структуры корреляций признаков в разных популяциях чужеродных растений. Нами установлено, что средние значения корреляций признаков и корреляционные матрицы популяций *Conyza canadensis*, расположенные в факторном пространстве, изменяются при усилении антропогенного воздействия [Тохтарь, Мазур, 2011] (рис. 1). В левой части диаграммы находятся популяции техногенных, в средней – квазиприродных, а в правой – природных экотопов. Учитывая распределение корреляционных структур популяций в факторном пространстве, первый статистический фактор трактуется как фактор ослабления антропогенного влияния на популяции. Эти результаты подтверждают данные Н.С. Ростовской [2000], полученные ранее на разных видах, и свидетельствуют о перспективности использования этого метода для оценки и визуализации

изменений корреляционных структур морфологических признаков в зависимости от интенсивности и типа антропогенного влияния.

Как показывают наши исследования, проведенные на модельном роде *Oenothera* (subsect. *Oenothera* L., Onagraceae) [Wittig et al., 1999; Wittig, Tokhtar, 2002; 2003; Tokhtar, Groshenko, 2014], в случае изучения аффилированных модельных групп видов для визуализации данных и выявления факторов, которые детерминируют распространение видов, наилучшие результаты могут быть получены при комплексном использовании традиционных и статистических методов анализа.

Анализ данных по распространению и обилию видов в модельных антропогенно трансформированных экотопах Западной и Восточной Европы традиционными методами [Wittig, Tokhtar, 2003] выявил, что в Западной Европе произрастает большое количество крупно- и мелкоцветковых видов, тогда как в Восточно-европейских странах распространены преиму-

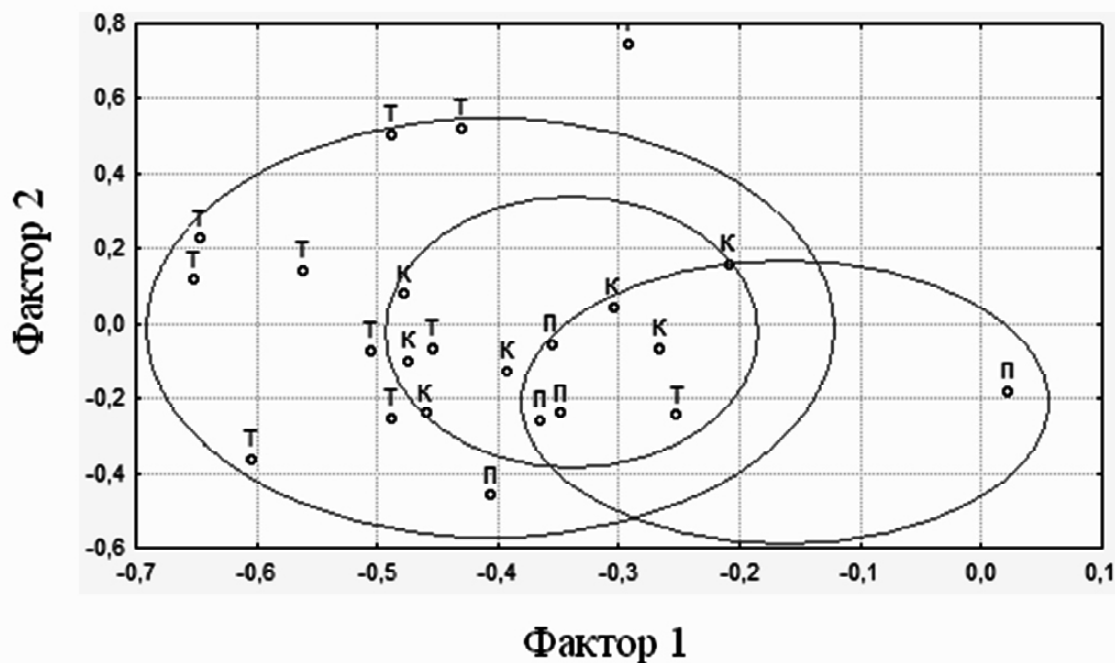


Рис. 1. Визуализация корреляционных структур количественных морфологических признаков популяций *Conyza canadensis*, полученная с помощью метода главных компонент. Условные обозначения: Т – структуры популяций в техногенных; К – квазиприродных; П – природных экотопах. Одна точка отражает корреляционную структуру 18 признаков каждой популяции.

щественно среднецветковые. Причины такого распространения видов энотер были установлены при использовании методов многомерной статистики [Tokhtar, Groshenko, 2014].

Для изучения факторов, лимитирующих распространение энотер, нами был использован метод соответствия канонических корреляций [Ter Braak, 1995]. Это позволило визуализировать зависимости распространения видов в конкретных условиях среды и определить пространственное расположение центроидов экологических ниш энотер в Восточной Европе по отношению к лимитирующим их распространение факторам. Благодаря этому было установлено, что наиболее активные инвазионные виды Восточной Европы – *Oe. biennis*, *Oe. rubricaulis*, *Oe. depressa* находятся недалеко от центра исходящих в многомерном пространстве факторов [Tokhtar, Groshenko, 2014]. Это свидетельствует о том, что экологические ниши этих видов в наименьшей степени зависят от большинства проанализированных природно-климатических факторов (где их значения равны нулю), в первую очередь от температурных условий и факторов увлажнения. Экологические ниши видов, широко распространённых в Западной Европе и редко встречающихся в Восточной, располагаются в зонах многомерного пространства, соответствующих значениям факторов, которые характеризуют влажные и тёплые условия обитания [Tokhtar, Groshenko, 2014].

Таким образом, анализ соответствия канонических корреляций позволил нам объяснить причину того, что филогенетически обособленные линии мелко- и крупноцветковых видов распространены, преимущественно, в Западной Европе. К ним относятся: *Oenothera ammophilla*, *Oe. oakesiana*, *Oe. glazioviana*, *Oe. parviflora*, *Oe. perangusta*. Среднецветковые виды энотер произрастают повсеместно и встречаются в Восточной Европе значительно чаще, чем остальные: *Oenothera biennis*, *Oe. rubricaulis*, *Oe. depressa*, *Oe. hoelscheri*. Вероятно, поэтому происходит численное уменьшение встречаемости и их обилия в направлении с Запада на Восток Европы. Исходя из приведённых результатов, можно сделать вы-

вод о том, что существенным фактором, влияющим на видовой состав энотер различных территорий Европы, являются условия увлажнения и температура.

К гораздо более сложным проблемам, нежели задача определения закономерностей распространения отдельных близкородственных чужеродных видов, относится проблема, связанная с выявлением закономерностей распространения целых групп разнородных видов, которые сопряжённо мигрируют в разные типы природных (в случае натурализации) и антропогенно трансформированных экотопов.

При изучении колонизации видами различных типов техногенных, в том числе токсичных для растений местообитаний, можно констатировать, что использование традиционных методов анализа, в этом случае, недостаточно эффективно. Таксономические и типологические соотношения жизненных форм и биотипов в структурах таких флорокомплексов очень близки, а различия между ними часто практически неуловимы. Именно поэтому делать выводы об особенностях их формирования и факторах, влияющих на процесс колонизации разных типов антропогенно трансформированных экотопов, достаточно сложно [Тохтарь, Виноградова, 2009].

Исследование групп чужеродных видов, формирующихся в различных типах техногенных экотопов, с помощью факторного анализа корреляционных матриц коэффициентов Жаккара показало, что колонизация техногенных экотопов заносными видами имеет упорядоченный характер.

Использование факторного анализа дало возможность установить, что чужеродные виды колонизируют различные антропогенные местообитания, проявляя групповую стратегию, которая определяется степенью толерантности видов к уровню техногенного воздействия и степенью антропогенной трансформации экотопа. Методами многомерной статистики выявлено, что адвентивные фракции флор техногенных экотопов образуют в факторном пространстве три обособленные группы, которые формируются в различных условиях: 1) нетоксичных первичных и вторичных

техногенных экотопах; 2) токсичных вторичных экотопах (коксохимические, химические, металлургические заводы); 3) токсичных первичных экотопах (золо-, шлако-, шламоотвалы, горнообогатительные комбинаты и др.) [Тохтарь, Виноградова, 2009].

Для конкретизации влияния факторов среды в дополнение к факторному анализу можно использовать метод соответствия канонических корреляций. С его помощью нами установлено, что различия в видовом составе адвентивных видов в техногенных экотопах во многом обусловлены действием эдафических факторов, в частности, кислотностью и плодородием почв. Ряд экологических ниш видов располагается на ординационной диаграмме вблизи оси, характеризующей низкое содержание гумуса в почве [Тохтарь, 2016]. Виды, способные произрастать в этих условиях, являются наиболее активными при колонизации соответствующих этим условиям первичных техногенных экотопов.

Другой важной задачей изучения экспансии чужеродных растений является выявление особенностей распространения инвазионных видов в природных местообитаниях, то есть процессов натурализации, которые сопровождаются внедрением видов в естественные сообщества.

Для этого нами были изучены группы инвазионных видов, заселяющие на юго-западе Среднерусской возвышенности различные природные и антропогенные местообитания вдоль градиента снижения антропогенного фактора: железные дороги, парки, леса, степные участки, овражно-балочные местообитания, меловые обнажения и др. [Tokhtar et al., 2017]

Для изученных флорокомплексов анализировались коэффициенты Жаккара и ранговой корреляции Спирмена (при оценке растительных сообществ с учётом обилия видов). Изученные корреляционные матрицы помещались в факторное пространство, что позволило визуализировать особенности распространения инвазионных видов в различных местообитаниях.

На рисунке 2 (а, б) видно, что при использовании метода главных компонент инвазионные

виды достаточно чётко распределились на диаграмме по группам, колонизирующим степные и лесные местообитания. Отдельно от других расположились и группы инвазионных видов меловых местообитаний. Группа инвазионных видов овражно-балочных экотопов распределена в факторном пространстве более широко и отмечена в группах лесных, меловых, антропогенных (парки, железные дороги) местообитаний. Это объясняется присутствием в их составе ряда общих для целого ряда групп местообитаний древесных видов. Антропогенно трансформированные экотопы (парки, железные дороги) расположились рядом в факторном пространстве за счёт сходства в видовых составах чужеродных растений (рис. 2 а, б). Наиболее обособленными оказались растения, колонизирующие степные местообитания. Сходство видовых составов между этими группами чужеродных растений, колонизирующих эти местообитания определяется общностью видов, которые отмечены на диаграмме (рис. 2 а, б). В пределах степных местообитаний это: *Amaranthus retroflexus*, *Cyclachaena xanthiifolia*, *Conyza canadensis*, *Alcea rosea*. В большинстве экотопов хвойных лесов встречаются виды рода *Oenothera*, *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Ulmus pumila*, а в широколиственных: *Impatiens parviflora*, *Arrhenatherum elatius*, *Parthenocissus inserta*. Близость видовых составов инвазионных растений, колонизирующих меловые местообитания (рис. 2 б), определяется присутствием здесь *Elaeagnus angustifolia*, *Hippopha rhamnoides*, *Crataegus monogyna*, *Caragana arborescens*.

Похожая картина наблюдается и при анализе диаграммы разброса, полученной на основе коэффициентов Спирмена, с учётом обилия инвазионных видов в растительных сообществах.

Анализ соответствий позволяет оценить участие разных структурных компонентов в ценофлорах различных местообитаний: жизненных форм Раункиера, групп по времени заноса, инвазионному статусу и пр. (рис. 3), по времени заноса (археофиты, кенофиты, эукенофиты), статусу инвазивности и др.

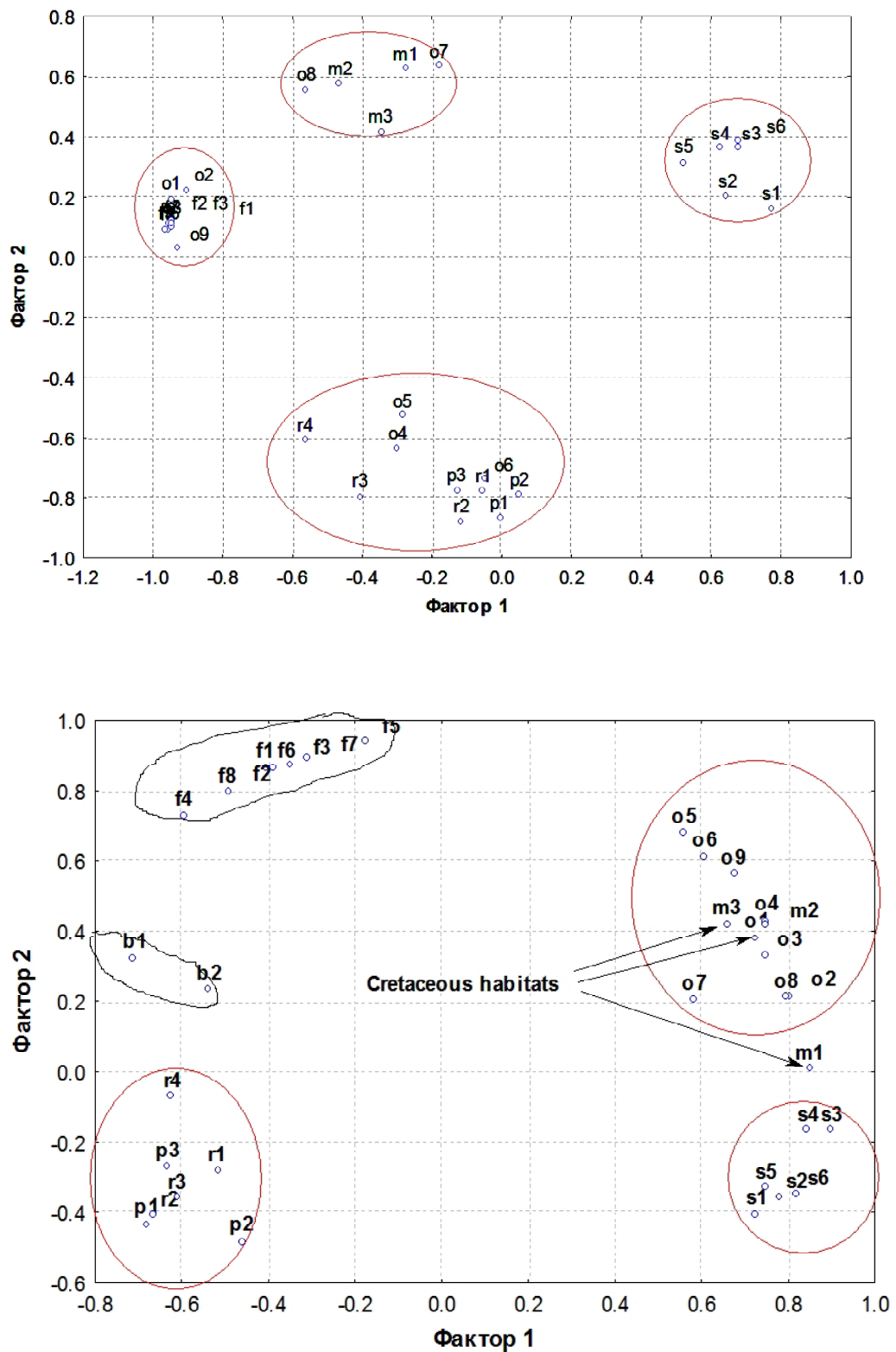


Рис. 2. Распределение групп чужеродных видов, колонизирующих различные природные экотопы в факторном пространстве: а) диаграмма, полученная на основании использования коэффициентов Жаккара, б) диаграмма, построенная на основании коэффициентов Спирмена, b1–b2 – болота, m1–m7 – меловые обнажения, f1–f8 – лесные местообитания, o1–o9 – овражно-балочные системы, p1–p3 – парки, r1–r4 – железные дороги, s1–s6 – степные местообитания.

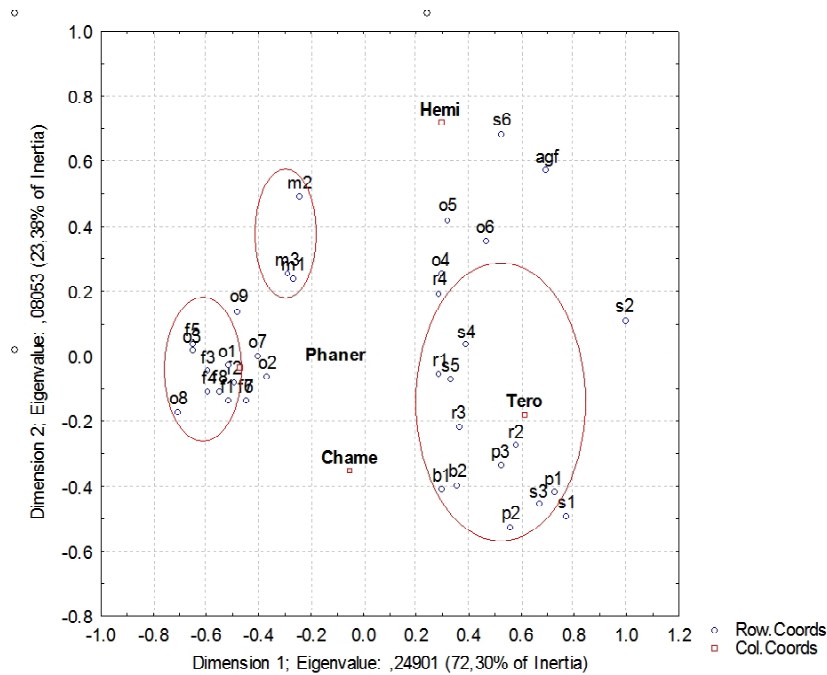


Рис. 3. Визуализация данных, отражающая соотношения жизненных форм в группах чужеродных растений, колонизирующих различные местообитания, полученная с помощью анализа соответствий корреляций: Hemi – гемикриптофит, Tero – терофит, Chame – хамефит, Phaner – фанерофит, b1–b2 – болота, m1–m7 – меловые обнажения, f1–f8 – лесные местообитания, o1–o9 – овражно-балочные системы, p1–p3 – парки, r1–r4 – железные дороги, s1–s6 – степные местообитания.

Результаты, представленные на диаграмме (рис. 3), показывают, что точки, обозначающие структуры видовых составов чужеродных растений, которые колонизируют «лесные» и «овражно-балочные» местообитания, расположились вблизи точки пространства, отражающей позицию категории «Фанерофит». Это свидетельствует о преобладании в их структуре фанерофитов. Группы растений, произрастающих на железных дорогах и в парках, находятся в «зоне влияния» категории «Терофиты».

Таким образом, данный анализ позволяет визуализировать особенности структур групп чужеродных растений, колонизирующих различные экотопы, на основе корреляций между количественными соотношениями различных жизненных форм в них. Он позволяет определить месторасположение любой группы растений не только по отношению к изученным категориям признаков, но и выявить их взаиморасположение между собой на основании коррелятивных взаимосвязей между их структурами. В случае, если удастся объяснить

значения осей в пространстве факторов путём анализа значимых факторных нагрузок, можно определить не только степень их влияния на группы чужеродных видов, но и выявить точные дистанции между ними по отношению к действующим факторам.

Заключение

Перспективность методов многомерной статистики определяется возможностью построения моделей на основании установления взаимосвязей между широким комплексом хорологических, флористических данных и характеристик окружающей среды, которые могут быть визуализированы. В зависимости от задач исследования создаваемые модели могут быть классификационными, историческими (в случае, если изучается динамика изменений видовых составов) и прогностическими.

Проанализированные методы дают возможность оценивать значительные объёмы любых неоднородных данных с помощью пакетов современных компьютерных программ, определять главные факторы, вызывающие те или

иные изменения в структуре популяций, видов и групп чужеродных видов, колонизирующих различные типы экотопов вдоль различных градиентов среды. В зависимости от факторных нагрузок статистические факторы могут быть идентифицированы. Перспективность методов многомерной статистики заключается и в том, что они могут быть использованы при изучении любых корреляционных матриц и любых коэффициентов, характеризующих биоразнообразие и параметры окружающей среды.

Для понимания процессов распространения чужеродных видов в различные природные и антропогенные местообитания необходим углубленный анализ внутренних механизмов, разработка и использование новых комплексных эмпирико-статистических подходов, основанных как на использовании традиционных методов анализа, так и методах многомерной статистики для визуализации больших объёмов данных.

Механизмы инвазий чужеродных видов могут быть раскрыты при сочетании традиционных и статистических методов исследования, позволяющих визуализировать сложные многочисленные и многосторонние взаимосвязи эколого-биологических особенностей видов, природно-климатических и экологических факторов среды.

Исследование было выполнено при финансовой поддержке Госзадания № 6.4854.2017/БЧ Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

- Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Чёрная книга флоры Средней России. Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: ГЕОС, 2010. 512 с.
- Ростова Н.С. Изменчивость системы корреляций морфологических признаков. Популяции видов рода *Leucanthemum* (Asteraceae) в природе и в условиях культивирования / Н.С. Ростова // Ботан. журн. 2000. Т. 85. № 1. С. 46–67.
- Тохтарь В.К. Региональная флористика и современные методы анализа антропогенно трансформированных флор: Учебное пособие. Белгород: ИД «Белгород», 2016. 106 с.
- Тохтарь В.К., Виноградова Ю.К. Исследование распространения чужеродных видов в антропогенно трансформированных экотопах методом факторного анализа // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2009. № 15. С. 139–145.
- Тохтарь В.К., Мазур Н.В. Изменчивость корреляционных структур морфологических признаков популяций *Conyza canadensis* // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. 2011. № 9 (104). Вып. 15/1. С. 252–256.
- Тохтарь В.К., Фомина О.В. Особенности формирования урбанофлор в различных природно-климатических и антропогенных условиях: факторный анализ и визуализация данных // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. 2011. № 9 (104). Вып. 15. С. 23–29.
- Чибрик Т.С. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях / Т.С. Чибрик, Ю.А. Елькин. Свердловск: Изд-во Ур. ун-та, 1991. 220 с.
- Gutte P., Rostanski K. Die *Oenothera* – Arten Sachsens // Ber. Arbeitsgem. sachs. Bot. 1971. No. 9. S. 63–88.
- Hudziok G. Die *Oenothera*-Arten der sudlichen Mittelmark und des angrenzenden Flamings // Verh. bot. Ver. Prov. Brandenb. 1968. Bd. 105. P. 73–107.
- Jehlik V., Rostanski K. Notes on the genus *Oenothera* subsect. *Oenothera* (Onagraceae) in the Czech Republic // Folia Geobot. et Phytotaxonomy. 1995. Vol. 30. P. 435–444.
- Pasierbicki A., Ćabicka I., Shevera M., Tokhtar V.K., Tokarska-Guzik B. The realized niche of *Ambrosia artemisiifolia* in relation to its potential distribution in Europe // Bridging the gap between scientific knowledge and management practice: 11th international conf. on the ecology and management of alien plant invasion, Szombathely, 30 August – 3 September 2011: program, abstracts / University of West Hungary, Faculty of Natural Sciences. Szombathely. 2011. P. 23.
- Renner O. Versuche uber die gametische Konstitution der *Oenothera* // Z. Abst. Vererb. 1917. Vol. 18. P. 121–294.
- Rostanski K., Rostanski A., Shevera M & Tokhtar V. *Oenothera* in Ukraine // In: The genus *Oenothera* L. in Eastern Europe. Cracow: W. Szafer Institute of Botany, 2004. 134 p.
- Soldano A. Per una migliore conoscenza di *Oenothera* L. subgenere *Oenothera* in Italia I. // Atti. Ist. Bot. Lab. Critt. Univ. Pavia. 1979. Vol. 13. P. 145–158.
- Ter Braak, C.J.F. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology / C.J.F. Ter Braak, P.F.M. Verdonschot // Aquatic Sciences. 1995. Vol. 57. No. 3. P. 153–187.
- Tokhtar V.K., Groshenko A.S. Differentiation of the Climatic Niches of the Invasive *Oenothera* L. (Subsect. *Oenothera*, Onagraceae) Species in the Eastern Europe // Advances in Environmental Biology. 2014. Vol. 8. No. 10. P. 529–531 // (https://www.researchgate.net/publication/264041916_Differentiation_of_the_Climatic)

[Niches of the Invasive *Oenothera* \(Subsect *Oenothera* Onagraceae Species in the Eastern Europe\)](#). Проверено 07.11.2017.

Tokhtar V.K., Vinogradova Yu.K., Groshenko A.S. Microevolution and invasiveness of *Oenothera* L. species (subsect. *Oenothera*, Onagraceae) in Europe // Russian Journal of Biological Invasions. 2011. Vol. 2. No. 4. P. 273–280. // (<https://link.springer.com/article/10.1134/S2075111711040138>). Проверено 07.11.2017.

Tokhtar V.K., Kurskoy A.Y., Dunaev A.V., Tokhtar L.A., Petrunova T.V. The analysis of the flora invasive component in the southwest of the Central Russian Upland (Russia) // International Journal of Green

Pharmacy. 2017 (Suppl). 11 (3). S. 631. // (<http://www.greenpharmacy.info/index.php/ijgp/article/view/1186/721>). Проверено 07.11.2017.

Wittig R., Lenker K.-H., Tokhtar V.K. Zur Sociologie von Arten der Gattung *Oenothera* L. im Rheintal von Arnheim (NL) bis Müllhouse (F) // Tuexenia. 1999. Bd. 19. S. 447–467.

Wittig R., Tokhtar V.K. *Oenothera* – Arten auf industriebrachen im westfälischen Ruhrgebiet // Nature u. Heimat. 2002. Bd. 62. No. 1. S. 29–32.

Wittig R., Tokhtar V. Die Häufigkeit von *Oenothera*-Arten im westlichen Mitteleuropa // Feddes Repertorium. 2003. Bd. 114. 5–6. S. 372–379.

ADVANCED APPROACHES TO VISUALIZATION OF DATA ON ALIEN PLANT SPECIES DISTRIBUTION

© 2017 Tokhtar V.K.

Belgorod State National Research University, 308015, Belgorod, Pobeda-str., 85;

t-mail: tokhtar@bsu.edu.ru

The article analyzes and summarizes the results of the application and the prospects for using of different approaches to data visualization for different purposes when studying alien plant species. Research experience of alien plant species study indicates that the traditional methods of analysis of the composition and characteristics of their distribution in different regions in many cases are informative only to identify the main trends that reflect global processes of synanthropization of phytobiota. At the same time revealing the latent patterns of migration of plants and naturalization processes require the use of new modern methods.

The most promising approaches for analyzing large volumes of data are multivariate statistics methods. The prospects of these methods are determined by the ability to identify relationships among a wide range of floristic, biological data and characteristics of the environment that can be visualized. They allow us to present different data in the form of diagrams, reflecting the interaction of individual species and of whole groups of alien plants with climatic or environmental variables. These methods provide the opportunity to create a model of the spread of invasive species. They reflect the current statistical distance and the relationship among the different objects of study, which gives us an opportunity to identify the main features of group strategy of colonization of alien species of various natural and/or man-made habitats. These strategies depend, first of all, on the biological characteristics of the species, the level of anthropogenic transformation of the regional flora and environmental parameters.

Key words: invasion, alien species, methods of multidimensional statistics, data visualization