

УДК 581.524.2

doi: 10.17223/19988591/28/4

М.В. Олонова¹, X. Gao²

¹Томский государственный университет, г. Томск, Россия

²Институт биологии Ченду Китайской академии наук, г. Ченду, Китай

Потенциальные возможности распространения адвентивного растения *Poa compressa* L. в Сибири

Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ (№ 13-04-01715 А)

Poa compressa L. – вид, недавно обнаруженный на территории Сибири, включенный в США и Канаде в список инвазивных и особо вредоносных растений. Для выявления потенциальных возможностей его распространения на территории Сибири были установлены его климатические параметры и составлены модели распространения при помощи алгоритмов BIOCLIM и DOMAIN. Полученные данные позволяют предполагать более широкий ареал и высокие потенциальные возможности его расселения на территории Сибири. Способности *P. compressa* к гибридизации с близкими видами – *P. palustris* и *P. nemoralis* – могут привести к значительному изменению генофонда всех трех видов.

Ключевые слова: инвазивные виды; BIOCLIM; DOMAIN; *Poa compressa* L.

Введение

Миграция видов – естественный процесс, обусловленный изменениями климата и поверхности Земли на протяжении геологических периодов. Однако в последнее время мобильность видов существенно возросла в связи с подъемом экономической деятельности, в том числе сельскохозяйственной, товарообмена и туризма. Результатом такой повышенной активности некоторых видов, называемых инвазивными, является их внедрение в местные экосистемы и изменение их.

В понятие «инвазивный вид» разные авторы часто вкладывают разный смысл, но большинство исследователей различают чужеродные, адвентивные и инвазивные виды [1]. И те и другие – это виды, интродуцированные намеренно или непреднамеренно за пределы природных мест обитания, но в отличие от чужеродных инвазивные виды активно вторгаются в природные сообщества, самостоятельно там закрепляются, успешно конкурируют с местными видами и занимают новые экологические ниши. Это приводит к существенным изменениям в растительных сообществах, угнетению и вытеснению местных видов. При этом особенно страдают наиболее уязвимые – редкие и реликтовые виды. Инвазивные виды наносят ощутимый эко-

номический урон сельскому хозяйству. По оценкам специалистов [2], потери, вызванные инвазивными видами, составляют от 31 (Великобритания) до 96% (Южная Африка). Инвазивные виды оказывают влияние на эволюционный процесс и могут изменить генофонд аборигенных видов. Интрогрессивная гибридизация может привести к полному исчезновению отдельных видов местной флоры [3, 4]. Инвазивные виды в настоящее время не только наносят большой экономический ущерб, но и угрожают существованию природных экосистем, поэтому уже с конца прошлого столетия проблема вторжения многочисленных видов растений и животных становится актуальной и привлекает все большее внимание как биологов, так и общественности [4–6].

Известно, что успех закрепления и расселения вида на новой территории зависит от множества причин. Первой из них С.С. Elton [7] называет конкурентоспособность видов, которая определяется их биологическими особенностями. Г.П. Москаленко [5] особое внимание уделяет таким особенностям, как способность к вегетативному размножению, быстрое достижение репродуктивной зрелости и способность к регулярному и обильному плодоношению. Однако при этом, согласно теории климатических аналогов, успешная интродукция возможна только при непременном сходстве экологических условий. Зная, в каких условиях распространен тот или иной вид, можно с большой долей вероятности прогнозировать районы его успешной интродукции. Современный научный подход к исследованию инвазивных видов предполагает выявление потенциальных возможностей их распространения [8], или потенциальных ареалов.

Понятие потенциального ареала вида дано Т.А. Работновым [9]. Под ним понимается область, где климатические условия благоприятны для произрастания вида. Эта характеристика вплотную приближается к понятию экологического ареала, сформулированному В.П. Селедцом [10]. Однако в отличие от экологического ареала, который значительно более детально характеризует условия среды произрастания, выявление потенциального ареала не требует детального исследования и определения места вида в координатах экологических шкал. Потенциальный ареал опирается на климатические показатели и может быть определен с помощью биоклиматического моделирования, основанного на использовании ГИС-технологий. Биоклиматическое моделирование распространения видов, основанное на использовании климатических показателей и ГИС-технологий, может выявить территории, подходящие по своим климатическим характеристикам для произрастания того или иного вида. В настоящее время существует несколько методов биоклиматического моделирования. Их сравнению и оценке посвящены многочисленные статьи [11–13].

Poa compressa L. – относительно мезоморфный мятлик со всеми характерными особенностями секции *Stenopoa*, но, в отличие от остальных видов этой секции, образующий корневища и ползучие побеги, что дало по-

вод для его выделения в отдельную подсекцию. Другой особенностью этого вида являются сильно сплюснутые стебли, овальные на поперечном срезе [15]. *Poa compressa* – широко распространенный вид, который отмечается не только в Северном полушарии, но даже в Австралии. Считается, что на американский континент он был интродуцирован из Европы [14, 15]. В настоящее время в США [16] и Канаде [17] он включен в список инвазивных и вредоносных растений. Будучи обычным видом в Европе [18], включая европейскую часть России [15], до последнего времени был очень редким в Сибири. В течение долгого времени едва ли не единственное подтвержденное гербарным образцом местонахождение этого вида было зарегистрировано на территории Тулунской опытной станции в Иркутской области [19], но, вероятно, распространен он был все же шире. Затем этот вид был обнаружен в Томске [20]. Злаки, как известно, легко вступают в гибридизационные отношения [21], особенно характерно это для мятликов секции *Stenopoa* [22], к которой принадлежат эти виды. Виды секции *Stenopoa* в основном являются тетраплоидами и гексаплоидами [23], поэтому гибриды в этой секции обыкновенно выявляются на основании популяционно-морфологического анализа. Н.Н. Цвелев [15] приводит для флоры бывшего СССР гибрид между *P. compressa* и *P. nemoralis* L., известный как *P. figertii* Girh. Таким образом, проникновение и широкое распространение *P. compressa* на территории Сибири может привести к существенному изменению генофонда сибирских мятликов. Следовательно, его распространение здесь должно контролироваться, как это делается в США и Канаде. Как известно, ареал вида, потенциальные возможности его распространения обусловлены многими причинами, климатические особенности – одна из главных. Целью настоящей работы было уточнение современного распространения *P. compressa* на территории Сибири, выявление возможных гибридов между ним, с одной стороны, и *P. palustris* и *P. nemoralis* – с другой, а также исследование потенциальных возможностей распространения *P. compressa* на территории Сибири. Для этого на основании биоклиматических параметров требовалось установить его климатическую нишу и составить прогнозную карту его распространения.

Материалы и методики исследования

Для составления карты распространения *P. compressa* были использованы гербарные коллекции (BYU, LE, TK, US, UTC, гербарий университета штата Невада, г. Рино), электронная база данных Missouri Botanical Garden TROPICOS [24]; некоторые точки взяты из атласа Е. Hulten [25]. Всего было учтено 528 точек, расположенных в Северном полушарии. К счастью, в отличие от других мятликов, *P. compressa* морфологически хорошо отличается от близких видов, так что литературным данным вполне можно доверять.

Для выявления климатического профиля вида *P. compressa* был использован метод BIOCLIM. Этот метод, разработанный Н. Nix [26], широко использу-

ется для построения климатического профиля видов (его экологической ниши) и выявления их потенциальных ареалов. BIOCLIM визуализирует занимаемую видом экологическую нишу в виде гистограммы. Гистограмма показывает частоты различных климатических параметров, наблюдаемых у вида в заданной области. Ограничение экологической ниши вида основано на выявлении климатических характеристик точек, где был отмечен изучаемый вид.

Прогнозные карты, представляющие собой модели распространения вида, получены при помощи методов BIOCLIM и DOMAIN. Метод BIOCLIM [26] основан на выявлении климатической ниши исследуемого вида, которая устанавливается путем комбинации данных географического распространения видов (географических координат) и климатических характеристик этих точек. Полученная модель затем проецируется на электронную карту изучаемого региона. Она показывает потенциальное распространение вида и определяет области, где данный вид может произрастать и куда он может распространиться в будущем [8]. Более темным тоном на карте отмечаются области с наиболее благоприятными для каждого вида комбинациями климатических характеристик.

Для предсказания области потенциального распространения вида программа сравнивает все местонахождения с параметрами, лежащими внутри климатической ниши. Местонахождения со значениями всех климатических параметров, попадающих в пределы ниши, определяются программой как климатически соответствующие. Далее они классифицируются по соответствию экологической нише следующим образом: от 0 до 2,5 процентиля – низкое, от 2,5 до 5 – среднее, от 5 до 10 – высокое, от 10 до 20 – очень высокое и от 20 до 38 – отличное [27, 28]. Метод DOMAIN, предложенный G. Carpenter et al. [29], использует меру сходства Говера (Gower metric) для определения множественных расстояний между климатическими показателями в точках произрастания вида и изучаемым регионом. В результате создаются слои, где для каждой ячейки раstra определяется расстояние Говера между этой ячейкой и ближайшей точкой, где был зарегистрирован вид. Значения, вычисленные DOMAIN, представляют собой меру сходства и выражаются индексом пригодности местообитания для произрастания данного вида, значения которого варьируют от 0 до 100%. Чем выше индекс, тем более климатические характеристики данного места соответствуют потребностям вида [28].

Метод DOMAIN считается более точным, чем BIOCLIM [30, 31], а несомненным достоинством обоих методов является то, что их использование не требует данных об отсутствии вида в тех или иных точках. Разумеется, привлечение этих данных повысило бы точность прогноза, но слабая изученность территории Сибири в ботаническом отношении практически исключает возможности их использования.

Для выявления климатического профиля и составления модели распространения *P. compressa* была использована программа DIVA GIS 5.2 [27].

Климатические данные – 19 переменных¹ – взяты из базы WORDCLIM [32]. Она включает сетку с пространственным разрешением 2,5 arc-min, в узлах которой размещены климатические характеристики, полученные путем экстраполяции данных метеостанций с 1950 по 2000 г. Модель, сконструированная в результате анализа, была спроецирована на карту, построенную с помощью программы ArcGIS 9 [33].

Результаты исследования и обсуждение

Изучение гербарных материалов и полевые исследования позволили уточнить и детализировать распространение *P. compressa* (рис. 1). Помимо новых местонахождений в северо-западных окрестностях Томска, крупная популяция этого вида была обнаружена в Кузнецком Алатау, на берегу ручья Айдат, возле заброшенной шахты (Кемеровская область). И в Томской, и в Кемеровской областях он произрастает на нарушенных местообитаниях – вдоль дорог и на железнодорожных насыпях, на отвалах шахт.



Рис. 1. Распространение *Poa compressa* L. в Северном полушарии /

Fig. 1. *Poa compressa* L. distribution in the Northern Hemisphere

Наблюдение за томской популяцией *P. compressa* в течение десяти лет показало, что этот вид, похоже, весьма успешно гибридизирует с местными *P. palustris* и *P. nemoralis*, принадлежащими той же секции. Наблюдались многочисленные переходные формы, причем в отдельные годы преобладали формы, близкие к *P. compressa*, в другие – близкие к местным видам. Айдатская популяция *P. compressa* также производит впечатление смешанной: типичные образцы *P. compressa* (с выраженным корневищем, сильно сплюснутым стеблем и короткими листьями и веточками метелки) произрастали бок о бок с особями, сочетающими признаки *P. compressa* и аборигенного *P. nemoralis*, что может быть следствием интрогрессивной гибридизации. Сходная картина наблюдалась летом 2011 г. на Урале (Екатеринбург, железнодорожные пути возле товарных складов). Там была обнаружена обширная популяция, члены которой представляли собой самые разнообразные стадии перехода между *P. compressa* и *P. nemoralis*. Это свидетельствует о том, что в Сибири *P. compressa* может стать инвазивным и реально изменить генофонд близких аборигенных видов.

Полученные с помощью метода BIOCLIM гистограммы показывают частоты различных значений климатических характеристик Bio 1–19, наблюдаемых у вида в заданной области (рис. 2). Анализ гистограмм климатических переменных *P. compressa* позволил выявить отношение этого вида к вышеперечисленным биоклиматическим факторам. При этом практически сходными по конфигурации оказались графики Bio13 и Bio 6, отражающие, соответственно, осадки самого влажного месяца и самого влажного квартала, а также Bio14 и 1 Bio7, отражающие осадки самого сухого месяца и самого сухого квартала (см. рис. 2). Ближе всего к нормальному распределению оказались частоты Bio7, Bio10, и Bio11. К ним приближаются частоты Bio5 и Bio8. Все эти переменные отражают температурные параметры климата. И, наоборот, графики, показывающие отношение вида к осадкам, нередко не просто асимметричны, как у Bio14, Bio17 и отчасти Bio18; у них как бы обрезана левая, наиболее «сухая» часть (Bio13, Bio15, Bio16, Bio19). Можно предположить, что на территориях с таким сухим климатом распространение *P. compressa* ограничивается каким-то другим, более сильно действующим фактором.

Анализ гистограмм, отражающих климатические предпочтения *P. compressa*, позволяет предположить, что его распространение обусловлено главным образом температурными факторами; факторы, характеризующие осадки, похоже, играют подчиненную роль.

С помощью методов BIOCLIM и DOMAIN были также построены модели вероятного распространения *P. compressa* в зависимости от биоклиматических факторов (рис. 3). Здесь следует еще раз подчеркнуть, что речь идет о моделировании вероятностного распределения климатических условий, благоприятных для произрастания того или иного вида, а успех внедрения в растительные сообщества зависит в немалой мере и от других причин – конкурентных способностей вида, взаимосвязей компонентов сообщества. Эти карты, составленные при помощи разных методов, основанных на разных подходах, позволили выявить участки, на которых вероятность нахождения *P. compressa* наиболее высока. На карте они обозначены наиболее темным тоном. На территории Сибири такие участки занимают значительные площади и сосредоточены главным образом в Западной Сибири. Карты, составленные с помощью разных подходов, несколько различаются в оценке возможностей изучаемого вида к расселению на территории Сибири, но обе указывают на довольно высокую вероятность появления этого вида на нашей территории.

Особенно это заметно на карте, построенной при использовании алгоритма DOMAIN, который, как было отмечено выше, считается более точным, чем BIOCLIM.

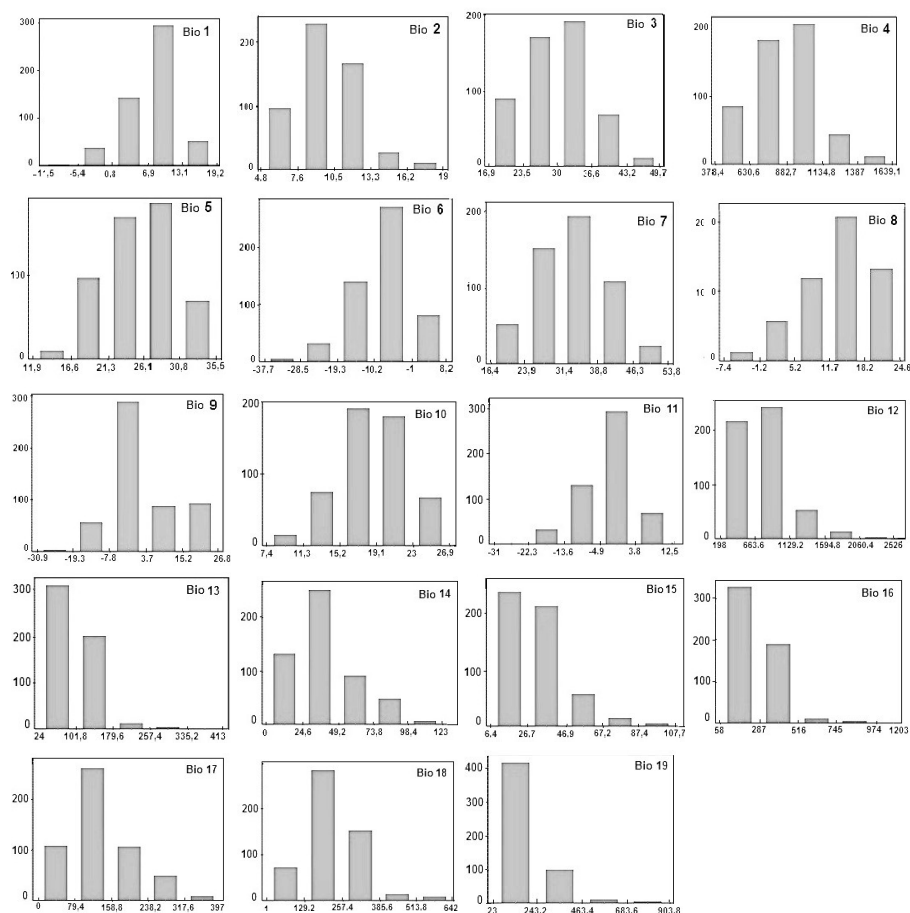


Рис. 2. Изменчивость различных климатических характеристик Bio 1–19, наблюдаемых в заданной области распространения *Poa compressa*.

Обозначения биоклиматических характеристик приведены в тексте (ось абсцисс – напряженность фактора, ось ординат – частоты): BIO1 – среднегодовая температура; BIO2 – суточные колебания температуры (среднемесячные); BIO3 – изотермальность (BIO1/ BIO7) $\times 100$; BIO4 – сезонность температуры (коэффициент вариации); BIO5 – максимальная температура наиболее теплого периода; BIO6 – минимальная температура наиболее холодного периода; BIO7 – среднегодовая амплитуда колебания температуры (BIO5 – BIO6); BIO8 – средняя температура наиболее влажного квартала; BIO9 – средняя температура наиболее сухого квартала; BIO10 – средняя температура наиболее теплого квартала; BIO11 – средняя температура наиболее холодного квартала; BIO12 – среднегодовые осадки; BIO13 – осадки наиболее влажного периода; BIO14 – осадки наиболее сухого периода; BIO15 – сезонность осадков (коэффициент вариации); BIO16 – осадки наиболее влажного квартала; BIO17 – осадки наиболее сухого квартала; BIO18 – осадки наиболее теплого квартала; BIO19 – осадки наиболее холодного квартала /

Fig. 2. Variability of different climatic Bio 1-19 characteristics, observed within the given area of distribution of *Poa compressa* (the abscissa axis - factor intensity, the ordinate axis - frequency). Designations of bioclimatic characteristics: Bio1 - Annual mean temperature; Bio2 - Mean diurnal temperature range (mean of monthly maximal temperature – minimal temperature); Bio3 - Isothermality (Bio2/Bio7 x 100); Bio4 - Temperature seasonality (standard deviation of monthly temperature); Bio5 - Minimum temperature of the coldest month; Bio6 - Minimum temperature of the warmest month; Bio7 - Temperature range (maximum temperature of the warmest month - minimum temperature of the coldest month; Bio8 - Mean temperature of the wettest quarter (i.e. mean temperature of 4 consecutive wettest months); Bio9 - Mean temperature of the driest quarter; Bio10 - Mean temperature of the warmest quarter; Bio11 - Mean temperature of the coldest quarter; Bio12 - Annual precipitation; Bio13 - Precipitation of the wettest month; Bio14 - Precipitation of the driest month; Bio15 - Precipitation seasonality (standard deviation of monthly precipitation); Bio16 - Precipitation of the dries quarter; Bio17 - Precipitation of the wettest quarter; Bio18 - Precipitation of the warmest quarter; Bio19 - Precipitation of the coldest quarter

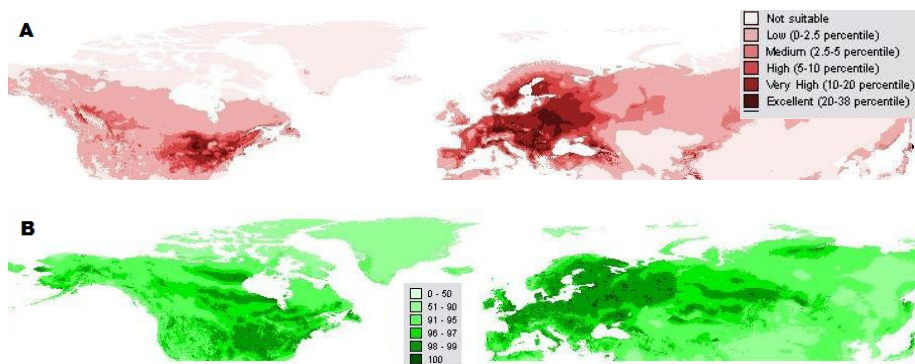


Рис. 3. Потенциальный ареал *Poa compressa* L.: А – полученный с помощью BIOCLIM; В – полученный с помощью DOMAIN /

Fig. 3. Potential range of *Poa compressa* L.: A - obtained with BIOCLIM; B - obtained with DOMAIN

Закключение

Проведенные исследования показали, что *P. compressa* распространен на территории Сибири шире, чем считалось ранее, причем представлен смешанными популяциями, члены которых морфологически в разной степени уклоняются к *P. palustris* или *P. nemoralis*. Это свидетельствует о том, что *P. compressa* и на территории Сибири гибридизирует с местными видами, что может привести к значительному изменению генофонда всех трех видов. Произрастая в основном в нарушенных местообитаниях, *P. compressa* пока не способен внедриться в устойчивые растительные сообщества, однако успешно размножается вегетативно при помощи ползучих корневищ, способен к регулярному и обильному плодоношению и быстро достигает репродуктивной зрелости. Это делает его потенциально опасным.

Исследование климатического профиля позволяет предполагать решающую роль температурного фактора, ограничивающего современное распространение *P. compressa* и подчиненную роль переменных, отражающих осадки. Полученные модели потенциального расселения *P. compressa* позволяют предполагать и более широкое распространение вида, и довольно высокие возможности его расселения на территории Сибири. Принимая во внимание ожидаемое повышение температуры во всем мире, будущая экспансия *P. compressa* на территории Сибири представляется весьма вероятной.

Авторы благодарят кураторов гербариев BYU, LE, TK, US, UTC за предоставленную возможность работы с коллекциями, профессора Университета штата Невада (Рино, США) Томаса Олбрайта за консультации по геостатистическому моделированию и ценные советы.

Литература

1. Эбель А.Л. Адвентивная флора алтайского региона // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. 2001. Т. 7. С. 12–124.
2. Pimentel D., McNair S., Janecka J., Wightman J., Simmonds C., O'Connell C., Wong E., Russel L., Zern J., Aquino T., Tsomondo T. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2001. Vol. 84. P. 1–20.
3. Magee, Teresa K, Paul L. Ringold, Michael A. Bollman, Ted L. Ernst. Index of Alien Impact: A Method of Evaluating Potential Ecological Impact of Alien Plant Species // Environmental Management. 2010. Vol. 45. P. 759–778.
4. Cabral H., March I.J., Alanis G.J. Ornamental plant species that threaten biodiversity in Mexico. URL: http://weedcenter.org/wab/2010/docs/presentations/Session-02/Cabral/CABRAL_PowerPoint.pdf (дата обращения: 12.05.2011).
5. Москаленко Г.П. Оценка потенциальной опасности адвентивных видов для ландшафтов // Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов : сборник материалов Круглого стола Всероссийской конференции по экологической безопасности России (4–5 мая 2002). М., ИПЭЭ им. А.Н. Северцова, IUCN (МСОП). 2002. С. 94–104.
6. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России. Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. Moscow: GEOS Publ., 2010. 512 p. URL: <http://www.bookblack.ru> (дата обращения: 12.05.2011).
7. Elton C.S. The ecology of invasions by animal and plants. London: Mcthenen, 1958. 181 p.
8. Ward D.F. Modeling the potential geographic distribution of invasive ant in New Zealand // Bio Invasions. 2007. Vol. 9. P. 723–735.
9. Работнов Т.А. Фитоценология. 2-е изд. М. : Изд-во МГУ, 1983. 292 с.
10. Селедец В.П., Пробатова Н.С. Экологический ареал вида у растений. Владивосток : Дальнаука, 2007. 98 с.
11. Anderson R.P., Lew D., Peterson A.T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting models // Ecological Modelling. 2003. Vol. 162. P. 211–232.
12. Welk E. Constrains in range predictions of invasive plant species due to non-equilibrium distribution patterns: Purple loosestrife (*Lythrum salicaria*) in North America // Ecological Modeling. 2004. Vol. 179. P. 551–567.
13. Philips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // Ecological Modeling. 2006. Vol. 190. P. 231–259.

14. Hitchcock A.S. Manual of the grasses of the United States. Washington : US Government Printing Office, 1935. 1040 p.
15. Цвелев Н.Н. Злаки СССР. Л. : Наука, 1976. 788 с.
16. Hefferman K.E., Coulling P.P., Townsend J.F., Hutto C.J. Ranking invasive Exotic plant species in Virginia. Natural Heritage technical report 01-13. Virginia Department of Conservation and Recreation, Division of Natural Heritage. Richmond, Virginia, 2001. 27 p. plus appendix.
17. Hoffman R., Kearns R. (eds). Wisconsin manual of control recommendations for ecologically invasive plants. Wisconsin Dept. Natural Resources. Madison. Wisconsin. URL: <http://plants.usda.gov/java/invasiveOne?pubID=Wi> (дата обращения: 12.12.2012).
18. Edmondson J.R. *Poa* L. // Flora Europaea. Vol. 5. Cambridge, 1980. P. 159–167.
19. Олонова М.В. *Poa* L. – Мятлик // Флора Сибири. Новосибирск, 1990. Т. 2. С. 163–186.
20. Олонова М.В. Новое местонахождение *Poa compressa* L. // Систематические заметки по материалам Гербария им. П.Н. Крылова. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. № 93. С. 11.
21. Цвелев Н.Н. О значении гибридизационных процессов в эволюции злаков (Poaceae) // История флоры и растительности Евразии. Л., 1972. С. 5–16.
22. Пробатова Н.С. Хромосомные числа в семействе Poaceae и их значение для систематики, филогении и фитогеографии (на примере злаков Дальнего Востока России) // Комаровские чтения. 2007. Вып. 55. С. 9–103.
23. Пробатова Н.С., Баркалов В.Ю., Рудыка Э.Г. Кариология флоры Сахалина и Курильских островов. Числа хромосом, таксономические и фитогеографические комментарии. Владивосток : Дальнаука, 2007. 392 с.
24. Soreng R.J., Davidse G., Peterson P.M., Zuloaga F.O., Judziewicz , Filgueiras T.S., Morrone O. TROPICOS 2004. URL: <http://mobot.mobot.org/W3T/Search/nwgc.html> (дата обращения: 20.05.2011).
25. Hulten E. Atlas of the distribution of the vascular plants in Nowestern Europe. ed. 2. Stockholm, 1971. 515 p.
26. Nix H. A biogeographic analysis of Australian Elapid snakes // Longmore R. (ed.) Snakes : atlas of Elapid snakes of Australia, 1986. P. 4–15.
27. Hijmans R.J., Guarino L., Jarvis A. et. al. DIVA-GIS, version 5.2. Manual. 2005. URL: http://www.diva-gis.org/DIVA-GIS5_manual.pdf (дата обращения: 22.05.2011).
28. Schelderman X., van Zonneveld M. Training manual on spatial analysis of plant diversity and distribution. Biodiversity International. Rome, Italy, 2010. 180 p.
29. Carpenter G., Gillison A.N., Winte J. DOMAIN – a flexible modeling procedure for mapping potential distributions of plants, animals // Biodiversity Conservation. 1993. Vol. 2. P. 667–680.
30. Beaumont L.J., Hughes L., Poulsen M. Predicting species distributions: use of climate parameters in BIOCLIM and its impact on predicting of species' current and future distributions. // Ecological modeling. 2005. Vol. 176. P. 250–269.
31. Elith J., Graham C.H., Anderson R.P., Dudik M., Ferrier S., Guisan A., Hijmans R.J., Huettmann F., Leathwick J., Lehmann A., Li J., Lohmann L.G., Loiselle B., Manion G., Moritz C., Nakamura M., Nakazawa Y., Overton J.McC., Peterson A.T., Phillips S., Richardson K., Scachetti-Pereira R., Schapire R., Sobers J., Williams S., Wisz M., Zimmerman N. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecogeography. 2006. Vol. 29. P. 129–151.
32. Hijmans R.J., Cameron S., Parra J. Climate data from Worldclim. 2004. URL: <http://www.worldclim.org> (дата обращения: 20.05.2011).
33. ArcGIS (ESRI). URL: <http://www.esri.com> (дата обращения: 27.01.2011).
34. Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission> (дата обращения: 22.06.2012).

Поступила в редакцию 21.01.2013 г.; повторно 14.10.2014 г.;
принята 27.10.2014 г.

Авторский коллектив:

Олонова Марина Владимировна – д-р биол. наук, профессор кафедры экологического менеджмента Биологического института Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: olonova@list.ru

Xinfen Gao – профессор, куратор гербария (CDBI) Института биологии Ченду Китайской академии наук (г. Ченду, Китай). E-mail: xfgao@cib.ac.cn

Tomsk State University Journal of Biology. 2014. № 4 (28). P. 56–69

Marina V. Olonova¹, Xinfen Gao²

¹*Department of Ecological Management, Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation.*

E-mail: olonova@list.ru

²*Herbarium (CDBI), Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Science, Chengdu, China.*

E-mail: xfgao@cib.ac.cn

Potential distribution of *Poa compressa* L. adventive species in Siberia

Species migration is a natural process but in recent years the mobility of species has significantly increased and a special group of so-called invasive species is recognized by biologists. In contrast to alien species introduced intentionally or unintentionally outside their natural habitats, invasive species actively invade natural communities and occupy new ecological niches. This leads to significant changes in plant communities. Invasive species also affect the evolutionary process. Because of introgressive hybridization, for example, they can alter the gene pool of native species and even cause a total extinction of close species.

It is known that the success of introduction and distribution of species on a new territory is only possible in the terms of similarity of environmental conditions. Therefore, knowing the ecological niche of species, it is possible to predict the areas of its successful introduction. The modern scientific approach to the study of invasive species is revealing its potential ability for distribution and potential range. Bioclimatic modeling, based on the GIS technology, can identify the areas, suitable for its climate conditions for species growth.

Poa compressa L. is a widespread species which occurs not only in the northern hemisphere, but even in Australia. In the U.S. and Canada this species is included on the list of invasive and harmful plants. Being a common species in Europe, it has almost not been found in Siberia, but lately it has been encountered here quite often. This species has been found in Tomsk and Kemerovo Oblasts, occurring mainly in disturbed habitats along the roadsides, on embankments and mine dumps. This species seems to hybridize successfully with local relative species *P. palustris* L. and *P. nemoralis* L. and might be a potentially harmful species in Siberia, altering the genotype of native ones.

In order to reveal the potential possibility of *P. compressa* for distribution in Siberia, we obtained its ecological niche, based on 19 bioclimatic characteristics (19 variables with a spatial resolution of 2.5 arc-min), using the program DIVA GIS 5.2. The analysis of histograms, which show the frequencies of climate variables Bio1Bio19, appropriated to *P. compressa* range, has revealed the variability of these characteristics within that area. This analysis showed that only the characteristics, describing the temperature parameters were the closest to the normal distribution. Conversely, the graphs which concern precipitations, quite often were not simply asymmetrical, but their left part looked as if it had been cut in their “driest” part. Obviously, in the areas

with arid conditions *P. compressa* distribution seems to be limited by some other, more potent factor.

We also constructed predictive distribution maps, using the BIOCLIM and DOMAIN methods. These maps identified the areas where the probability of occurring of *P. compressa* was the highest.

In Siberia such areas have proved to occupy vast areas, especially on the maps created using the algorithm DOMAIN, which is considered to be more accurate than BIOCLIM. The obtained data of the potential range of *P. compressa* suggest both a wider distribution of this species and a relatively high potential of its settlement in Siberia. Its inclination to hybridization with related species *P. palustris* and *P. nemoralis* can relate in significant changes in the gene pool of these three species. Probably, Siberian botanists should be more attentive to this species and to control its spread.

Acknowledgments: This work was carried out with the support of Grant RFBR 13-04-017-15A.

The authors thank the curators of the herbariums BYU, LE, TK, US, UTC, Nevada for the opportunity to work with collections; Thomas Albright, professor of the University of Nevada (Reno, USA) for consultations on geostatistical modeling and valuable advice.

The article contains 3 figures, 34 ref.

Key words: invasive species; BIOCLIM; DOMAIN; *Poa compressa* L.

References

1. Ebel AI. Adventive flora of Altai district (Altai territory). *Botanicheskie issledovaniya Sibiri i Kazakhstana*. Vol. 7. Barnaul: Altay State University Publ.; 2001. pp.12-124.
2. Pimentel D, McNair S, Janecka J, Wightman J, Simmonds C, O'Connell C, Wong E, Russel L, Zern J, Aquino T, Tsomondo T. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2001;84:1-20. doi: [10.1016/S0167-8809\(00\)00178-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00178-X)
3. Magee, Teresa K, Paul L. Ringold, Michael A. Bollman, Ted L. Ernst. Index of Alien Impact: A Method of Evaluating Potential Ecological Impact of Alien Plant Species. *Environmental Management*. 2010;45:759-778. doi: [10.1007/s00267-010-9426-1](https://doi.org/10.1007/s00267-010-9426-1)
4. Cabral H, March JJ, Alanis GJ. Ornamental plant species that threaten biodiversity in Mexico. Weeds Across Borders. June 1-4, 2010. Shepherdstown, West Virginia, USA. Available at: http://weedcenter.org/wab/2010/docs/presentations/Session-02/Cabral/CABRAL_PowerPoint.pdf. (accessed 12.05.2011)
5. Moskalenko GP. Otsenka potentsial'noy opasnosti adventivnykh vidov dlya landshaftov [Evaluation of potential dangers of adventitious species for landscapes]. *Ekologicheskaya bezopasnost' i invazii chuzherodnykh organizmov* [Ecological safety and invasive organisms. Proc. of the round table of All-Russian conference on ecological safety of Russia (4-5 may 2002)]. Moscow: AN Severtsov Institute of Ecology and Evolution; 2002. pp. 94-104.
6. Vinogradova YuK, Mayorov SR, Khorun LV. Chernaya kniga flory Sredney Rossii. Chuzherodnye vidy rasteniy v ekosistemakh Sredney Rossii [Black book of the flora of Central Russia. Invasive plant species in ecosystems of Central Russia]. Moscow: GEOS Publ.; 2010. 512 p. Available at: <http://www.bookblack.ru>. (accessed 12.05.2011).
7. Elton CS. The ecology of invasions by animal and plants. London: Mcthenen Publ.; 1958. 181 p.
8. Ward DF. Modeling the potential geographic distribution of invasive ant in New Zealand. *Bio Invasions*. 2007;9:723-735. doi: [10.1007/s10530-006-9072-y](https://doi.org/10.1007/s10530-006-9072-y)
9. Rabotnov T.A. Fitotsenologiya [Phytocoenology]. 2nd ed. Moscow: Moscow State University Publ.; 1983. 292 p.

10. Seledets VP, Probatova NS. Ekologicheskiy areal vida u rasteniy [Ecological range of plant species]. Vladivostok: Dal'nauka Publ.; 2007. 98 p.
11. Anderson RP, Lew D, Peterson AT. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting models. *Ecological Modelling*. 2003;162:211-232. doi: [10.1016/S0304-3800\(02\)00349-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00349-6)
12. Welk E. Constrains in range predictions of invasive plant species due to non-equilibrium distribution patterns: Purple loosestrife (*Lythrum salicaria*) in North America. *Ecological Modeling*. 2004;179:551-567. doi: [10.1016/j.ecolmodel.2004.04.020](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.04.020)
13. Philips SJ, Anderson RP, Schapire RE. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*. 2006;190:231-259. doi: [10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026)
14. Hitchcock AS. Manual of the grasses of the United States. Washington: US Government Printing Office; 1935. 1040 p.
15. Tsvelev NN. Zlaki SSSR [Grasses of the USSR]. Leningrad: Nauka Publ.; 1976. 788 p.
16. Heffernan KE, Coulling PP, Townsend JF, Hutto CJ. Ranking invasive Exotic plant species in Virginia. Natural Heritage technical report 01-13. Virginia Department of Conservation and Recreation, Division of Natural Heritage, Richmond, Virginia. 2001. 27 pp. plus appendix. Available at: http://www.dcr.virginia.gov/natural_heritage/documents/rankinv.pdf
17. Hoffman R, Kearns R. Wisconsin manual of control recommendations for ecologically invasive plants. Wisconsin Dept. Natural Resources. Madison. Wisconsin. Available at: <http://plants.usda.gov/java/invasiveOne?pubID=Wi> (accessed 12.12.2012)
18. Edmondson JR. *Poa* L. In: Tutin TG, Heywood VH, Burges NA, Moore DM, Valentine DH, Walters SM, Webb DA., editors. *Flora Europaea*. Vol. 5. UK, Cambridge: Cambridge University Press; 1980. pp. 159-167.
19. Olonova MV. *Poa* L. *Flora Sibiri* [Flora of Siberia]. Vol. 2. Novosibirsk: Nauka, Siberian Department Publ.; 1990. pp. 163-186.
20. Olonova MV. Новое местонахождение *Poa compressa* L [New location of *Poa compressa* L]. *Sistematicheskie zametki po materialam Gerbariya im. P.N. Krylova Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2003;93:11.
21. Tsvelev NN. O znachenii gibridizatsionnykh protsessov v evolyutsii zlakov (Poaceae) [Significance of hybrid processes for plant evolution]. *Istoriya flory i rastitel'nosti Evrazii* [The history of flora and vegetation of Eurasia]. Leningrad: Nauka Publ.; 1972. pp. 5-16.
22. Probatova NS. Khromosomnye chisla v semeystve Poaceae i ikh znachenie dlya sistematiki, filogenii i fitogeografii (na primere zlakov Dal'nego Vostoka Rossii) [Chromosome numbers in Poaceae and their significance for systematics, phylogeny and phytogeography (using grasses of Far East as an example)]. *Komarovskie chteniya*. 2007;55:9-103.
23. Probatova NS, Barkalov VYu, Rudyka EG. Kariologiya flory Sakhalina i Kuril'skikh ostrovov. Chisla khromosom, taksonomicheskie i fitogeograficheskie kommentarii [Caryology of the flora of Sakhalin and the Kurile islands. Chromosome numbers, taxonomic and phytogeographical comments]. Vladivostok: Dal'nauka Publ.; 2007. 392 p.
24. Soreng RJ., Davidse G, Peterson PM, Zuloaga FO, Judziewicz EJ, Filgueiras TS, Morrone O. Catalogue of new world grasses (Poaceae). Available at: <http://mobot.mobot.org/W3T/Search/nwgc.html>. (accessed 20.05.2011)
25. Hulten E. Atlas of the distribution of the vascular plants in Nowestern Europe. ed. 2. Stockholm: Generalstabens Litografiska Anstalt; 1971. 531 p.
26. Nix H. A biogeographic analysis of Australian Elapid snakes. In: Atlas of Australian Elapid snakes. Longmore R, editor. Canberra, Australia: Bureau of Flora and Fauna; 1986. pp. 4-15.
27. Hijmans RJ, Guarino L, Jarvis A. et. al. DIVA-GIS, version 5.2. Manual. 2005. Available at: http://www.diva-gis.org/DIVA-GIS5_manual.pdf. (accessed 22.05.2011).

28. Schelderman X, van Zonneveld M. Training manual on spatial analysis of plant diversity and distribution. *Biodiversity International*. Rome, Italy. 2010. 180 p. Available at: http://www.biodiversityinternational.org/uploads/tx_news/Training_manual_on_spatial_analysis_of_plant_diversity_and_distribution_1431_07.pdf.
29. Carpenter G, Gillison AN, Winte J. DOMAIN: a flexible modeling procedure for mapping potential distributions of plants, animals. *Biodiversity and Conservation*. 1993;2:667-680. Available at: http://www.who.edu/cms/files/Carpenter_etal_2003_53463.pdf
30. Beaumont LJ, Hughes L, Poulsen M. Predicting species distributions: use of climate parameters in BIOCLIM and its impact on predicting of species' current and future distributions. *Ecological modeling*. 2005;176:250-269. doi: [10.1016/j.ecolmodel.2005.01.030](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.01.030)
31. Elith J, Graham CH, Anderson RP, Dudik M, Ferrier S, Guisan A, Hijmans RJ, Huettmann F, Leathwick J, Lehmann A, Li J, Lohmann LG, Loiselle B, Manion G, Moritz C, Nakamura M, Nakazawa Y, Overton JMcC, Peterson AT, Phillips S, Richardson K, Scachetti-Pereira R, Schapire R, Soberoso J, Williams S, Wisz M, Zimmerman N. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecogeography*. 2006;29:129-151.
32. Hijmans RJ, Cameron S, Parra J. Climate data from Worldclim. 2004. Available at: <http://www.worldclim.org> (дата обращения: 20.05.2011). <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1276/pdf>
33. ArcGIS (ESRI). Available at: <http://www.esri.com> (accessed 27.01.2011).
34. Intergovernmental Panel on Climate Change. Available at: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/> (accessed 22.06.2012).

Received 21 January 2013;

Revised 14 October 2014;

Accepted 27 October 2014.

Olonova MV, Gao X. Potential distribution of *Poa compressa* L. adventive species in Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2014;4(28):56-69. doi: [10.17223/19988591/28/4](https://doi.org/10.17223/19988591/28/4) In Russian, English summary