

УДК 581.9; 581.527.7; 632.51

DOI: 10.47928/1726-9946-2020-20-1-46-52

Современное и прогнозируемое распространение *Sorghum halepense* (L.) Pers. на Кавказе

Чадаева В.А., Пшегусов Р.Х.

Представлено академиком АМАН Шхагапсоевым С.Х.

Введение. Серьезной проблемой, широко обсуждаемой мировым сообществом, являются биологические инвазии (внедрение чужеродных видов на новые территории), наносящие серьезный ущерб сельскому хозяйству, рекреационному и медицинскому туризму, приводящие к утрате биоразнообразия и нарушению функционирования природных экосистем [1-2; и др.]. Одно из приоритетных направлений исследований в данной области – изучение закономерностей распространения инвазионных видов на фоне современных климатических изменений. Актуально проведение подобных исследований и для горных территорий Кавказа, где за последние годы выявлено распространение вверх по высотному градиенту ряда чужеродных растений: *Erigeron canadensis* (L.) Cronquist и *Galinsoga parviflora* Cav. на территории Кавказского государственного природного биосферного заповедника [3], *Galinsoga quadriradiata* Ruiz & Pav. в окр. Красной Поляны [4], *Ambrosia artemisiifolia* L. в национальном парке «Приэльбрусье» [5], *Xanthium spinosum* L. в горной Чечне [6], *Ambrosia trifida* L. в горах Северной Осетии [7]. Учитывая уязвимость горных экосистем, туристско-спортивно-рекреационный, оздоровительный и сельскохозяйственный (горные пастбища) потенциал горных территорий, внедрение и распространение инвазионных видов растений может принести колоссальный экологический и социально-экономический ущерб регионам Кавказа.

Sorghum halepense (L.) Pers. (сорго алеппское, гумай, джонсонова трава) – многолетнее корневищное растение семейства мятликовые (злаки), происхождение которого связано с Малой Азией и Северной Африкой. На Северном Кавказе вид появился в начале 1930-х гг. [8], а в 1980-х гг. был хорошо известен в сорной флоре большинства кавказских регионов [9, с. 46]. В настоящее время, например, на территории Кабардино-Балкарии *S. halepense* массово засоряет посеы кукурузы в равнинных районах, образует скопления по границам сельхозугодий и на залежах в предгорной зоне, встречается по рудеральным местам населенных пунктов, на пойменных лугах [9, с. 48]. Занос семян происходит на колесах автотранспорта и сельхозтехники, с зерном, на подошве обуви, водными потоками. Растение значительно истощает почву, затрудняет ее обработку [10]. Кроме того, молодые побеги могут вызвать отравление у скота, а пыльца вида является аллергеном. Несмотря на то, что сейчас *S. halepense* произрастает в равнинных и предгорных районах северного макросклона Большого Кавказа, постепенно захватывает нарушенные местообитания по Черноморскому побережью, современные климатические изменения могут обеспечить успешность натурализации вида в горных экосистемах. В связи с этим актуально изучение биоклиматических и эколого-географических требований *S. halepense* для выявления потенциальных мест его произрастания и возможных масштабов распространения, в том числе в высокогорных районах Кавказа.

Цель исследований – провести пространственное моделирование современного распространения *S. halepense* на Кавказе, спрогнозировать возможное изменение ареала до 2050 г. в соответствии с наиболее оптимистичным сценарием развития климатических изменений в XXI в. RCP 2.6 (Fifth Assessment Report (AR5), 2014) в рамках модели изменения климата IPSL-CM5 (IPSL Earth System Model for the 5th IPCC report).

Материалы и методы. Для моделирования потенциального распространения *S. halepense* на Кавказе в ходе наземных исследований 2017–2020 гг. были зафиксированы GPS-координаты 68 мест произрастания вида. Общая площадь анализируемой территории составила 390 тыс. км², включая территорию Кабардино-Балкарии, Краснодарского края, Адыгеи, Ставропольского края, Дагестана, Чеченской Республики, Ингушетии, Карачаево-Черкессии, Северной Осетии, Абхазии, Армении, Грузии, Азербайджана.

Для моделирования пространственного распределения вида в границах района исследований использовали метод максимальной энтропии Maxent (Maxent software for species habitat modeling) [11, 12]. Метод Maxent позволяет по распределениям значений свойств среды выделить участки территории, аналогичные тем, на которых обнаружен вид, в том числе участки с наибольшей вероятностью его обнаружения. Для оценки основных факторов, обуславливающих распространение *S. halepense*, мы использовали расширенный набор биоклиматических и топографических характеристик ENVIREM (Environmental rasters for ecological modeling) [13]. Графическое отображение результатов исследований выражается в создании карт распространения вида в среде ГИС приложения MapInfo 10. Визуализация вероятности встречаемости осуществляется по ранжированным значениям в градации цветов от синего (встречаемость «0») до красного (встречаемость «1»). Для потенциально пригодных мест произрастания вида приемлемы значения вероятности от 0.5 до 0.8, для оптимальных местообитаний – выше 0.8. Подобный подход позволяет выявить параметры среды, влияющие на распространение вида.

Для оценки динамики ареала *S. halepense* с учетом изменений климата до 2050 г. использовали прогнозные модели, разработанные на основе наиболее оптимистичного сценария изменения концентрации парниковых газов – RCP2.6, принятого Межправительственной группой экспертов по изменению климата (IPCC) при подготовке ее Пятого доклада в 2014 г. (Fifth Assessment Report (AR5)). Согласно сценарию RCP2.6, пик выбросов парниковых газов придется на 2010-2020 гг., после чего произойдет спад, а увеличение глобальной средней поверхностной температуры в конце текущего столетия (2081–2100 гг.) по сравнению с его началом (1986–2005 гг.) окажется в диапазоне 1.4-3.1°C при среднем уровне 2.2°C.

Учитывая, что *S. halepense* на Кавказе проявляет себя в первую очередь как сегетальное сорное растение, провели также оценку потенциального распространения вида по категориям земель сельскохозяйственного назначения (сельхозугодья, сенокосы, пастбища, окрестности ферм, фруктовые сады, виноградники) с использованием векторных полигонов картографической базы NextGis. Средние значения вероятностей встречаемости вида на этих землях рассчитаны на основе извлечения растровых данных модели по полигонам методами пространственного анализа программы QGis.

Результаты и их обсуждение. С высокой степенью достоверности (значение показателя AUC, характеризующего прогностическую способность модели, – 0.954) установлено, что в основном пригодные по биоклиматическим условиям участки для *S. halepense* концентрируются от равнин до среднегорий северного макросклона Большого Кавказа (за исключением территории Краснодарского края, Республики Адыгея и Республики Дагестан), а также в Грузии и по побережью Черного моря (рис. 1).

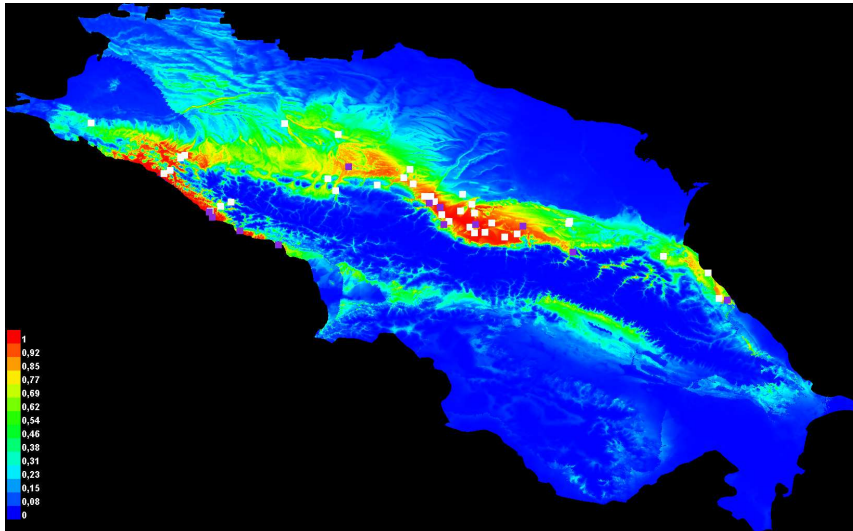


Рисунок 1 – Картограмма распределения пригодных в настоящее время для *Sorghum halepense* мест произрастания на Кавказе. 0-0.4 – значения вероятности нахождения вида для непригодных мест произрастания, 0.5-0.8 и свыше 0.8 – соответственно вероятность для пригодных и оптимальных местообитаний.

Оптимальные места произрастания вида в настоящее время сосредоточены в предгорьях и среднегорьях Центрального, Восточного Кавказа (за исключением территории Дагестана) и в северо-западной части Черноморского побережья.

При этом основными факторами, при комплексном воздействии максимально влияющими на распространение *S. halepense* на Кавказе, являются два эколого-климатических параметра: минимальная температура самого холодного месяца и индекс засушливости климата Торнтвейта (Thornthwaite aridity index). Процентный вклад каждого из этих параметров в построение модели в комплексе факторов достаточно большой – соответственно 35,7 и 27,8% (в сумме 63,5%). Предсказанная пригодность местообитания для *S. halepense* в целом снижается за пределами диапазона минимальной температуры самого холодного месяца 12,5-17°C (вероятность обнаружения вида менее 50%) (рис. 2). Приемлемый для вида диапазон индекса засушливости Торнтвейта, количественно характеризующего степень аридности климата, составляет 16-50. Указанные значения данных параметров характеризуют *S. halepense* как достаточно теплолюбивое и влаголюбивое растение, что подтверждают литературные данные [14].

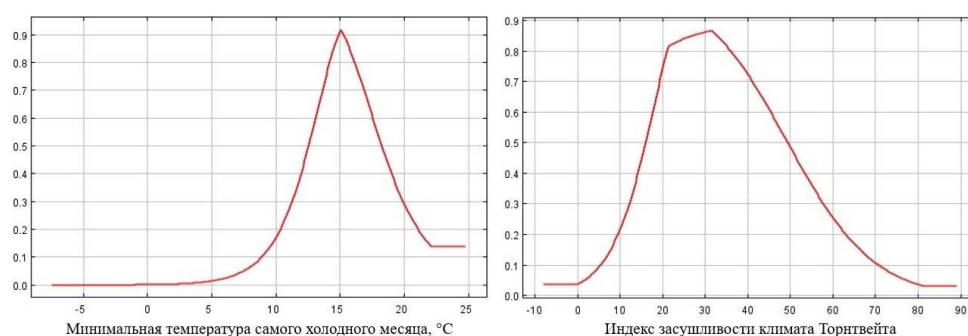


Рисунок 2 – График откликов «точек присутствия» *Sorghum halepense* на важнейшие факторы среды. По оси ординат – предсказанная вероятность подходящих условий для вида, по оси абсцисс – значение фактора. Графики отражают зависимость прогнозируемой пригодности местообитаний от выбранной переменной с учетом ее скоррелированности с другими переменными.

Прогнозирование динамики пространственного распределения *S. halepense* на Кавказе на фоне изменений климата до 2050 г. показало возможное значительное увеличение площади потенциально пригодных, в том числе оптимальных для произрастания вида местообитаний (рис. 3).

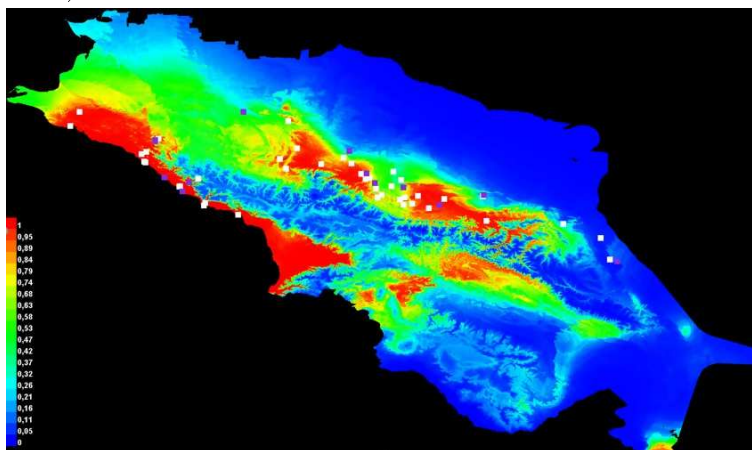


Рисунок 3 – Картосхема распределения пригодных для *Sorghum halepense* мест произрастания на Кавказе к 2050 г. с учетом климатических изменений по сценарию RCP 2.6 (модель IPSL-CM5).

На фоне климатических изменений возможен захват обширных территорий на Западном и Восточном Кавказе, формирование новых центров ареала (центров обилия) на побережье Черного моря (Краснодарский край, Абхазия, Грузия). На территории большинства регионов российской части Кавказа (Карачаево-Черкессия, Кабардино-Балкария, Северная Осетия, Ингушетия, Чеченская Республика, Дагестан), а также Абхазии, Грузии и Армении прогнозируется продвижение вида в горные районы в основном по речным долинам крупных ущелий.

В частности, в значительной степени возрастает вероятность обнаружения *S. halepense* на землях сельскохозяйственного назначения всех анализируемых категорий (рис. 4), что в отсутствие действенных мер по борьбе с видом приведет к увеличению ущерба от его распространения для различных отраслей сельского хозяйства кавказских регионов. Увеличение вероятности обнаружения *S. halepense* на пастбищах и сенокосах свидетельствует

о способности вида к внедрению в полуестественные луговые сообщества с сомкнутым травостоем.

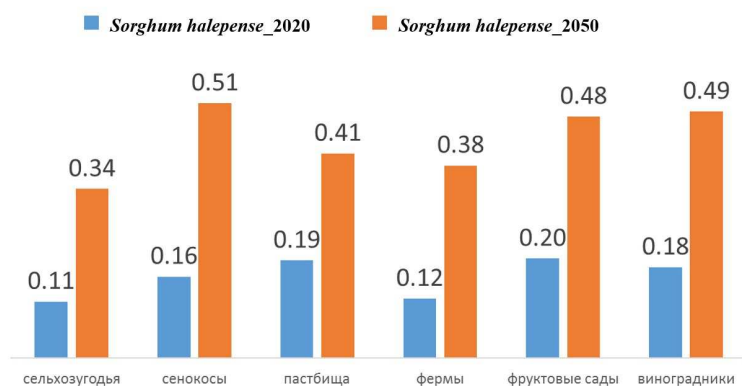


Рисунок 4 – Средние значения вероятностей встречаемости *Sorghum halepense* на землях сельскохозяйственного назначения в настоящее время и к 2050 г. с учетом климатических изменений.

Заключение. В настоящее время центр ареала *S. halepense* на Кавказе расположен на Центральном и Восточном Кавказе в границах Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, Ингушетии, Чечни, а также в Предкавказье (Ставропольский край); высока вероятность его обнаружения на северо-западе Черноморского побережья (Краснодарский край). Значительные по площади пригодные и оптимальные для вида по биоклиматическим условиям территории сосредоточены от равнинной зоны до среднегорий указанных регионов. Пространственное распределение *S. halepense* на Кавказе в наибольшей степени определяется минимальной температурой самого холодного месяца (12,5-17°C) и индексом засушливости климата (16-50). Приемлемые для вида значения этих параметров характеризуют его как относительно теплолюбивое и влаголюбивое растение.

В соответствии с прогнозируемыми тенденциями климатических изменений (наиболее оптимистичным вариантом изменения концентрации парниковых газов) к 2050 г. на Кавказе произойдет расширение площади потенциально пригодных и оптимальных для *S. halepense* местообитаний за счет массового распространения на Западном и Восточном Кавказе (включая территорию Карачаево-Черкесии, Краснодарского края, Дагестана), на побережье Черного моря (Краснодарский край, Абхазия, Грузия), в горах Грузии и Армении. Повсеместно прогнозируется проникновение вида в высокогорные районы Кавказа по долинам крупных рек. Увеличение вероятности его обнаружения на сельхозугодьях, сенокосах, пастбищах, фруктовых садах, виноградниках, в окрестностях ферм может привести к возрастанию ущерба от распространения *S. halepense* для различных отраслей сельского хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pauchard A., Kueffer Ch., Dietz H., Daehler C.C., Alexander J., Edwards P.J., Ramòn J., Lohengrin A., Cavieres A., Guisan A., Haider S., Jakobs G., McDougall K., Millar C. I., Naylor B.J., Parks C.G., Rew L.J., Seipel T. Ain't no mountain high enough: plant invasions reaching new elevations // Front. Ecol. Environ, 2009, vol. 7, pp. 479–486.

2. McDougall K.L., Alexander J.M., Haider S., Pauchard A., Walsh N.G., Kueffer C. Alien flora of mountains: Global comparisons for the development of local preventive measures against plant invasions // Diversity and Distributions, 2010, vol. 17, pp. 103–111.
3. Труды Кавказского государственного природного биосферного заповедника: Выпуск 20 / Под ред. В.В. Акатова, Т.В. Акатовой, С.А. Трепета. Майкоп: Графика, 2013. 297 с.
4. Акатова Т.В., Акатов В.В., Ескина Т.Г., Загурная Ю.С. О распространении некоторых инвазивных видов травянистых растений на Западном Кавказе // Экологический вестник Северного Кавказа. 2009. Т. 5, № 2. С. 41–50.
5. Chadaeva V.A., Shhagapsoeva K.A., Tsepikova N.L., Shhagapsoev S.H. Monitoring of *Ambrosia artemisiifolia* L. distribution in meadow phytocenoses of Kabardino-Balkarian Republic (Central Caucasus) // Russian Journal of Biological Invasions, 2018, vol. 9, № 2, pp. 195–203.
6. Головлев А.А. Фитогеографический очерк горной Чечни // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2006. № 1. С. 17–29.
7. Москаленко Г.П. Карантинные сорные растения России. Москва: Росгоскарантин, 2001. 278 с.
8. Новопокровский И.В., Косенко И.С. Районы сорной растительности северокавказского края. Ростов н/Д: Северный Кавказ, 1933. 34 с.
9. Шхагапсоев С.Х., Чадаева В.А., Шхагапсоева К.А. Материалы к Черной книге флоры Кабардино-Балкарской Республики. Нальчик: Издательство М. и К. Котляровых (ООО «Полиграфсервис и Т»), 2018. 140 с.
10. Кожжаев В.А. Влияние гербицидов на засоренности посевов и потребление питательных элементов сорняками в различных агроландшафтах РСО-Алания // Известия Горского государственного аграрного университета. 2014. Т. 51. Ч. 1. С. 26–32.
11. Baldwin R.A. Use of maximum entropy modeling in wildlife research // Entropy, 2009, vol. 11, № 4, pp. 854–866.
12. Elith J., Graham C.H., Anderson R.P., Dudik M. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data // Ecography, 2006, vol. 29, № 2, pp. 129–151.
13. ENVIREM (Environmental rasters for ecological modeling). Available at: <https://envirem.github.io/>
14. Клевцов М.М. Изучение некоторых биологических особенностей гумая (*Sorghum halepense* (L.) Pers) и разработка мер борьбы с ним на орошаемых землях в степной зоне Кабардино-Балкарской АССР: автореф. дис. ... канд. с.-х.н. Нальчик, 1973. 26 с.

ABSTRACT

Sorghum halepense (L.) Pers, an invasive species, grows in diverse phytocenoses from plains to low-mountain zones of the Caucasus. Predictive modeling showed that at present there are significant areas in the Central, Eastern Caucasus and North-West coast of the Black sea (up to the middle-mountain zones) which are potentially adequate and optimal for the species. The spatial distribution of *S. halepense* is determined by the minimum temperature of the coldest month (12.5-17°C) and the Thornthwaite aridity index (16-50). In accordance with the predicted trends of climatic changes by 2050, it is possible to expand the area of suitable and optimal habitats for the species in the mountains of the Western and Eastern Caucasus, Georgia and Armenia, on the Black Sea coast. Significant range expansion of the species is expected along low river valleys in high-mountains.

Keywords: *Sorghum halepense*, biological invasions, mountain areas, range expansion, MaxEnt. Tembotov Institute of ecology of mountain territories Russian Academy of Sciences, Nalchik; v_chadaeva@mail.ru, p_rustem@inbox.ru

© V.A. Chadaeva,
R.Kh. Pshegusov, 2020

АННОТАЦИЯ

Sorghum halepense (L.) Pers – инвазионный вид, произрастающий в разнообразных фитоценозах от равнины до предгорий Кавказа. Прогнозное моделирование показало, что в настоящее время на Центральном и Восточном Кавказе, северо-западе побережья Черного моря вплоть до среднегорий имеются значительные площади, потенциально пригодные и оптимальные для произрастания данного вида. Пространственное распределение *S. halepense* в большей степени определяется минимальной температурой самого холодного месяца (12,5-17°C) и индексом засушливости климата Торнтвейта (16-50). В соответствии с прогнозируемыми тенденциями климатических изменений к 2050 г. возможно расширение площади пригодных и оптимальных для вида местообитаний в горах Западного и Восточного Кавказа, Грузии и Армении, на побережье Черного моря.

Ключевые слова: *Sorghum halepense*, биологические инвазии, горные территории, расширение ареала, MaxEnt.

Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН, Нальчик; v_chadaeva@mail.ru, p_rustem@inbox.ru

© В.А. Чадаева,
Р.Х. Пшегусов, 2020