

УДК 582.572.225(571.16)

DOI: 10.14258/pbssm.2021050

**Моделирование территорий, пригодных для обитания *Allium obliquum* L.,
внесенного в Красную книгу Томской области,
на основе климатических данных**

**Modeling of territories suitable for the habitat of *Allium obliquum* L.,
listed in the Red Book of Tomsk oblast, based on climatic data**

Левченко Л. С., Олонова М. В.

Levchenko L. S., Olonova M. V.

Томский государственный университет, г. Томск, Россия. E-mail: larlev4encko@yandex.ru, olonova@list.ru
Tomsk State University, Tomsk, Russia

Реферат. Лук косой – *Allium obliquum* – внесен в Красную книгу Томской области со статусом 0 (вероятно, исчезнувший вид). Целью данного исследования явилось создание модели территории, по своим климатическим показателям пригодной для обитания *A. obliquum*, а также установить, насколько территория Томской области в целом подходит для произрастания данного вида. Исследования, проведенные с использованием алгоритма MaxEnt показали, что современные климатические условия территории Томской области отвечает потребностям *A. obliquum*, и изменение климата, прогнозируемое SCIRO для 2080 г., не ухудшат их существенно.

Ключевые слова. Ареал, эколого-климатическая ниша, *Allium obliquum*, MaxEnt, SDM.

Summary. Oblique onion – *Allium obliquum* – is included to the Tomsk Red Data Book with status 0 (probably an extinct species). The purpose of this study was to create a model of the territory, according to its climatic parameters, suitable for habitation of *A. obliquum*, as well as to reveal if the territory of Tomsk oblast as a whole is suitable for the growth of this species. Studies carried out using the MaxEnt algorithm showed that the current climatic conditions of Tomsk oblast as a whole are favorable for *A. obliquum* occurrence, and the climate change predicted by SCIRO for 2080 will not worsen them significantly.

Key words. *Allium obliquum*, area, ecologo-climatic niche, SDM, MaxEnt.

Лук косой – *Allium obliquum* L. – распространен на юге Европейской России, на Урале, в Средней Азии, Южной Сибири и Монголии, обитает главным образом на лугах и лесных склонах (Фризен, 1987). В. Г. Шафранский (2016) отмечает, что этот вид в настоящее время успешно окультурируется как овощное, декоративное и лекарственное растение. Он считается одним из самых ранних растений, которое вырастает сразу же после таяния снега. В местах его произрастания этот лук активно собирает местное население (Чухина, 2008). Природные запасы лука косого быстро сокращаются, и в настоящее время он уже нуждается в защите (Амельченко, 2013; Шафранский, 2016). Этот вид внесен в Красные книги нескольких областей, в частности, в оба издания Красной книги Томской области (Амельченко, 2002, 2013). В последнем издании он указывается как, вероятно, исчезнувший вид (категория 0). В качестве лимитирующих факторов В. П. Амельченко (2013) указывает неумеренный выпас скота, сенокошение, распашка земель, а также специфику биологии размножения. В Томском районе Томской области проходит северо-восточная граница ареала. Лук косой был известен из двух местонахождений: окрестностей г. Томска и п. Батурино Томского района), и новых местонахождений пока не обнаружено (Амельченко, 2013).

Целью данного исследования явилось создание на основе эколого-климатической ниши лука косого *A. obliquum* (Alliaceae), внесенного в Красную книгу Томской области, модели территории, пригодной для его обитания, а также установить, насколько территория Томской области в целом по своим климатическим показателям подходит для произрастания данного вида. Эти данные могут быть использованы в качестве научной базы для охраны данного вида на территории Томской области и прогнозирования изменений ареала при изменении климата.

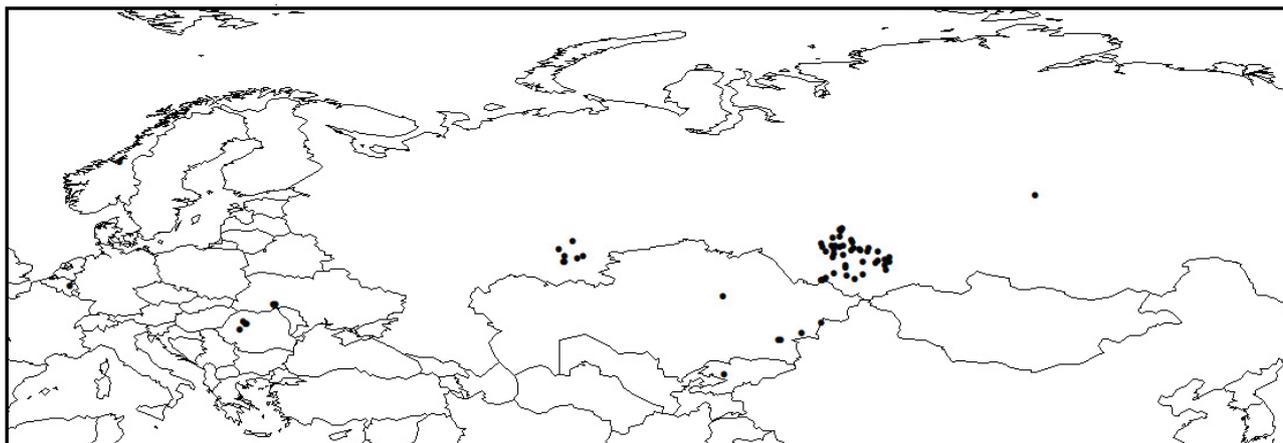


Рис. 1. Распространение *Allium obliquum* L.

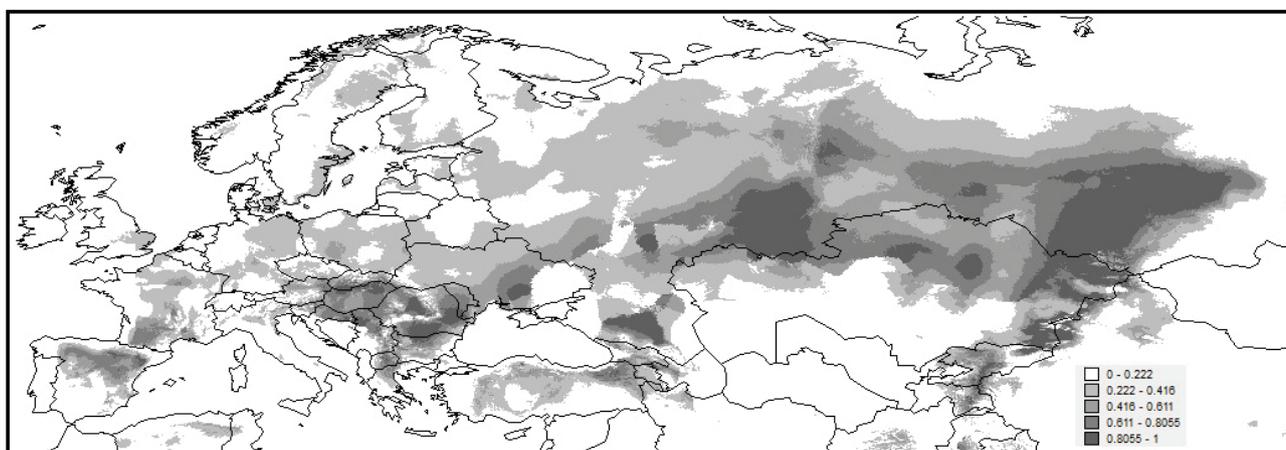


Рис. 2. Модель территории, подходящей для распространения *Allium obliquum* L., полученная на основании переменных Bio1, Bio7, Bio8, Bio12, Bio14, Bio19 (пояснения в тексте) с помощью программы MaxEnt для современного климата.

Для выявления эколого-климатической ниши *A. obliquum* было уточнено распространение вида и получена его цифровая карта (рис. 1). Для ее составления были использованы данные Флоры Сибири (Фризен, 1987), Красной книги Томской области (Амельченко, 2013), электронного атласа «Агроатлас» (Чухина, 2008), а также базы данных GBIF (GBIF. URL: <http://www.gbif.org>). Всего было обнаружено 90 местонахождений. Для выявления эколого-климатической ниши вида были использованы биологически значимые характеристики с разрешением 2,5 arcmin для современного климата, полученные из банка данных WorldClim (WorldClim. URL: <https://www.worldclim.org>). При построении моделей территорий, подходящих для произрастания вида (species distribution modeling, SDM), был использован алгоритм MaxEnt 3.4.0. (Phillips et al., 2006). Этот алгоритм, основанный на обучении выборки, в настоящее время признан лучшим среди не требующих данных об отсутствии вида (Anderson et al., 2003; Elith et al., 2006). В основе алгоритма лежит обучение выборки на основе одной части данных и использование другой части для тестирования результатов. 75 % точек использовалось для обучения, и 25 % – для тестирования. При построении модели был также использован порог 10 перцентилей, отсекающий значения 10 % краевых точек, занимающих маргинальное положение.

Для построения моделей территорий, пригодных для произрастания вида в 2080 г., были использованы климатические данные, прогнозируемые лабораторией SCIRO (<https://www.csiro.au>) для 2080 г, доступные в базе данных WorldClim (WorldClim. URL: <https://www.worldclim.org>).

Чтобы избежать негативного влияния корреляции на результат оценки влияния каждой переменной, был проведен тест независимости переменных (Brown, 2014), и в результате для анализа было отобрано 6 биологически значимых климатических переменных (Bio1 – среднегодовая температура;

Bio2 – суточные колебания температуры; Bio7 амплитуда колебания температуры; Bio8 – средняя температура наиболее влажного квартала; Bio12 – среднегодовые осадки; Bio15 – сезонность осадков) коэффициент корреляции между которыми не превышал 0,7.

Оценка прогностической возможности каждой модели производилась на основании площади под ROC-кривой. Эта кривая – рабочая характеристика приемника (receiver operating characteristic), иначе называемая кривой ошибок (Fawcett, 2006), позволяет оценивать качество бинарной классификации. Она отражает соотношение между долей объектов от общего количества носителей признака, верно классифицированных, как несущих признаки (ось ординат), и долей объектов, не несущих признаки, ошибочно классифицированных как несущих признаков (ось абсцисс). Количественную интерпретацию ROC – оценку способности модели указывать присутствие вида в той или иной точке раstra дает показатель AUC (Area under the curve, площадь под кривой), площадь, ограниченная ROC и осью доли ложных положительных классификаций (Phillips et al., 2006). М. В. Araújo (Araújo et al., 2005) предлагает следующую интерпретацию AUC для полученных моделей: свыше 0,9 – отличная; равная или менее 0,9, но более 0,8 – хорошая; равная или менее 0,8, но более 0,7 – приемлемая; равная или менее 0,7, но более 0,6 – плохая; и, наконец, равная или менее 0,6, но более 0,5 – недействительная.

Помимо модели территории, по своим эколого-климатическим показателям потенциально пригодной для произрастания вида, алгоритм MaxEnt позволяет оценить вклад каждой переменной в построение модели при помощи двух независимых инструментов – пермутации и теста jackknife (Scheldeman, van Zonneveld, 2010). Первый тест определяет вклад переменных путем случайного изменения значений каждой переменной в анализе и дальнейшего контроля за изменением AUC. Чем сильнее меняется AUC в результате изменения значений переменной, тем сильнее зависит модель от этой переменной, тем выше ее вклад в построение модели. Для того чтобы выразить это влияние в процентах, значения нормализованы. Прием jackknife состоит из трех шагов. Сначала по очереди из анализа выводятся все переменные, и модель создается с оставшимися. Затем модель создается только с одной переменной (с каждой по очереди). И, наконец, для сравнения создается модель с участием всех переменных (Scheldeman, van Zonneveld, 2010).

Следует, однако, учитывать, что полученные таким образом модели отражают лишь соответствие климатических характеристик потребностям видов. Реальные возможности расселения видов, обусловленные историческими причинами, конкурентными способностями видов, их биологическими особенностями, реально обеспечивающими виду успех в расселении, антропогенное воздействие в данном случае не подразумеваются и не учитываются (Guisan et al., 2017).

Полученная при помощи алгоритма MaxEnt прогнозная карта в целом соответствует распространению *A. obliquum* на континенте. Тем не менее, принимая во внимание порог в 10 перцентилей и трансформацию всех подпороговых значений в нулевые, результирующая модель прогнозирует для *A. obliquum* довольно высокую вероятность нахождения на большей части Восточной Европы и широкие возможности на юге Западной Сибири (рис. 1). AUC обучающая и AUC тестирующая, (соответственно, 0,920 и 0,932), соответствуют отличной прогностической возможности модели. Логистический порог равен 0,222.

Для оценки вклада каждой использованной переменной в создание моделей были использованы методы пермутации и jackknife.

Согласно оценки с помощью пермутации, для *A. obliquum* решающую роль сыграли такие признаки, как Bio15 (= 33,8 %), Bio8 (= 20,0 %) и Bio2 (= 16,5 %), первый из которых характеризует сезонность осадков, а два последующих – среднюю температуру наиболее влажного квартала и суточные колебания температуры. Тест jackknife для оценки значения каждой переменной показал следующий рейтинг наиболее высоких значений: Bio1, Bio15, Bio8; при этом Bio15 содержит наибольшее количество уникальной информации.

Исследования также показали, что территория Томской области почти полностью лежит в пределах прогнозируемой территории, благоприятной для произрастания *A. obliquum* (рис. 3А), следовательно, в настоящее время этот охраняемый вид на территории Томской области не испытывает неблагоприятного климатического воздействия на действительное распространение, следовательно, причина сокращения его численности, вероятнее всего, обусловлена иными факторами – низкой конкурентоспособностью, неблагоприятным антропогенным воздействием, и т. п.

Современные методы моделирования и имеющиеся данные о вероятных сценариях изменения климата в будущем позволяют также составить прогнозные модели возможной динамики ареалов. Для моделирования изменений ареалов в будущем были использованы климатические данные, соответствующие сценарию Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (Bureau of Meteorology and CSIRO. URL: <https://www.csiro.au>) для 2080, (сценарий эмиссии A2a). Согласно этому сценарию, к 2080 г. для

A. obliquum на территории Томской области ожидается некоторое ухудшение условий существования, тем не менее, неблагоприятные условия прогнозируются только для самой северной части области (рис. 3В).

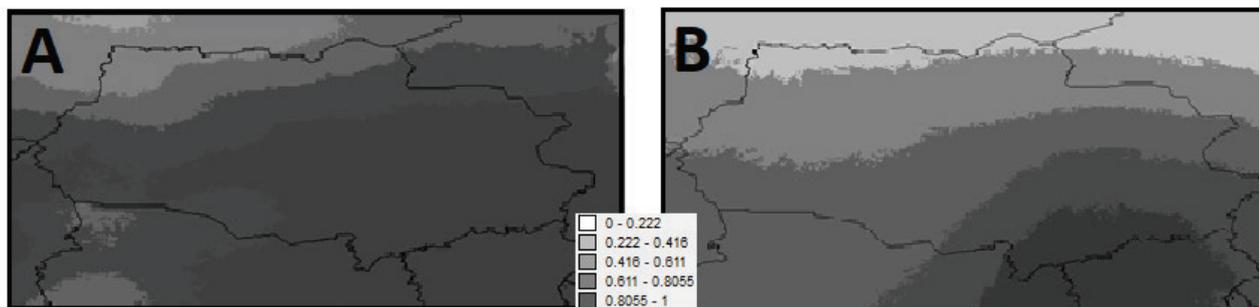


Рис. 3. Модель территории Томской области, подходящей для распространения *Allium obliquum* L., полученная на основании переменных Bio1, Bio7, Bio8, Bio12, Bio14, Bio19 (пояснения в тексте) с помощью программы MaxEnt. А – для современного климата; В – Климат 2080, прогнозируемый SCIRO, сценарий эмиссии – А2а.

Проведенные исследования показали, что современные климатические условия территории Томской отвечает потребностям *A. obliquum*, и изменение климата, прогнозируемое SCIRO для 2080 г. не ухудшат их существенно. Следовательно, в планировании природоохранных мероприятий для этого вида надо больше обращать внимание на сохранение местообитаний и неконтролируемый сбор растений населением.

ЛИТЕРАТУРА

- Амельченко В. П.** Лук косой *Allium obliquum* L. // Красная книга Томской области. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – С. 223–224.
- Амельченко В. П.** Лук косой *Allium obliquum* L. // Красная книга Томской области. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Томск: Печатная мануфактура, 2013. – С. 322–323.
- Фризен Н. В.** *Allium* L. – Лук // Флора Сибири. Agaraceae – Orchidaceae. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 80, 188.
- Чухина И. Г.** *Allium obliquum*. L. // Агрэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения. / Ред. А. Н. Афонин, С. Л. Грин, Н. И. Дзюбенко, А. Н. Фролов. 2008. URL: http://www.agroatlas.ru/ru/content/related/Allium_obliquum/index.html
- Шафранский В. Г.** Огород. Лук косой // Уральский садовод, 2016. – № 24. URL: <http://www.uralsadovod.ru>
- 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.
- Araújo M. B., Pearson R. G., Thuiller W., Erhard M.** Validation of species –climate impact models under climate change // Global Change Biology, 2005. – Vol. 11. – P. 1504–1513.
- Brown J. L.** SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses // Methods in Ecology and Evolution, 2014. – Vol. 5, No 7. – P. 694–700.
- Bureau of Meteorology and CSIRO.** Future climate URL: <https://www.csiro.au/en/research/environmental-impacts/climate-change/State-of-the-Climate/Previous/State-of-the-Climate-2016/Future-climate> (accessed 08.03.2021)
- 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. M. C., 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.
- Fawcett T.** An introduction to ROC analysis // Pattern Recognition Letters, 2006. – Vol. 27. – P. 861–874.
- GBIF – Global Biodiversity Information Facility.** URL: <http://www.gbif.org> (accessed 05.05.2021)
- Guisan A., Thuiller W., Zimmermann N. E.** Habitat suitability and distribution models: with application in R. – Cambridge: Cambridge University Press, 2017. – 478 p.
- Phillips S. J., Anderson R. P., Schapire R. E.** Maximum entropy modeling of species geographic distributions // Ecological Modelling, 2006. – Vol. 190. – P. 231–259.
- Schelderman X., van Zonneveld M.** Training manual on spatial analysis of plant diversity and distribution. – Rome: Biodiversity International, 2010. – 180 pp.
- SCIRO** URL: <https://www.csiro.au> (accessed 08.03.2021)
- WorldClim** URL: <https://www.worldclim.org/data/index.html> (accessed 06.12.2020)