



УДК 582.757.2:581.9+58.056

***Euphorbia rupestris* (Euphorbiaceae): геоэкологическая оценка ареала**

К. С. Байков^{1, 2*}, Е. В. Байкова^{1, 3}

¹ Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, ул. Золотодолинская, д. 101, г. Новосибирск, 630090, Россия

² E-mail: kbaikov2018@mail.ru; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5049-2910>

³ E-mail: elenabaikova@mail.ru; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7793-5344>

* Corresponding author

Ключевые слова: квартильная группа, климатическая модель, лимитирующие факторы, прогнозное значение, редкие эндемичные виды, таксономическая обособленность, уровень благоприятности среды обитания.

Аннотация. Выполнена геоэкологическая оценка ареала *Euphorbia rupestris* – редкого эндемичного облигатного петрофита Центрального Алтая из секции *Holophyllum*. Детально охарактеризованы все известные локации, объединенные в квартильные группы, различающиеся уровнем благоприятности среды обитания. Выделены наиболее информативные климатические показатели, лимитирующие распространение вида на данной территории. Среди лимитирующих факторов особое значение имеют суммы атмосферных осадков в летний и осенний периоды года. На основе уникальной комбинации морфологических признаков высказана гипотеза о таксономической обособленности локальной популяции *E. rupestris*, расположенной в 8 км южнее деревни Инегень.

***Euphorbia rupestris* (Euphorbiaceae): geoeological range assessment**

K. S. Baikov, E. V. Baikova

Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Zolotodolinskaya St., 101, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

Keywords: climate model, level of habitat suitability, limiting factors, predictive value, quartile group, rare endemic species, taxonomic isolation.

Summary. Geoeological assessment of the range of *Euphorbia rupestris*, a rare endemic obligate petrophyte of the Central Altai from the *Holophyllum* section, was performed. All known locations are described in detail, combined into quartile groups, differing in the level of habitat suitability. The most informative climatic indicators limiting the distribution of the species in this territory have been identified. Among the limiting factors, the amount of precipitation in the summer and autumn periods of the year is of particular importance. Based on a unique combination of morphological features, a hypothesis was expressed about the taxonomic isolation of the local population of *E. rupestris*, habited in 8 km to south of the Inegen village.

Появление новых методов моделирования ареалов по климатическим данным существенно изменило взгляд исследователей на геоэкологические особенности территорий, на которых размещаются локальные популяции видов. Появилась возможность выявлять наиболее значимые климатические переменные, лимитирующие распространение видов. Разработанные методы количественной оценки уровней благоприятности среды обитания в разных локациях позволили проводить корректное сравнение участков ареала между собой. Изменился сам взгляд на ареалы видов, имеющих дизъюнкции и несколько фрагментов. На смену умозрительным экспертным оценкам пришли строгие математические методы и подходы.

Данная статья посвящена детальной геоэкологической и геоинформационной оценке ареала редкого эндемичного вида *Euphorbia rupestris* Ledeb. – облигатного петрофита Русского Алтая (Рыак, 2003). До недавнего времени было известно не более 15 пунктов регистрации этого вида, среди которых чаще других приводились: устье р. Чуи и скала Белый Бом (Baikov, 2007). В последнее время появились еще несколько пунктов, представленных в базе данных «iNaturalist» и «Global Biodiversity Information Facility» (*iNaturalist contributors*, 2026; GBIF. URL: <https://www.gbif.org/>), среди которых наиболее интересные в Онгудайском р-не – в 8 км южнее д. Инегень (Рыак, 2023) и напротив устья р. Апшиякта, левого притока р. Чуя (Geltman, 2024). Вследствие большой редкости и эндемизма вид был включен в Красную книгу Республики Алтай (Baikov, Pshenichnaya, 2007).

Материал и методы исследования

Материалом для исследования послужили гербарные экземпляры *E. rupestris*, хранящиеся в крупнейших Гербариях России (LE, MW, NS, NSK, ТК). Всего было исследовано 33 гербарных образца, собранных в 23 локациях. Полный перечень гербарных экземпляров опубликован в монографии (Baikov, 2007). Все гербарные этикетки были сопоставлены с картами местности высокого разрешения (1 : 200000, 1 : 100000, 1 : 50000 и крупнее), при этом ориентиром служили скальные обнажения юго-западной, южной и юго-восточной экспозиции.

Построение климатических моделей выполнено в компьютерной программе MaxEnt (Phillips, Dudik, 2008; Teoreticheskiye osnovy

metoda Maxent. URL: <https://wiki.gis-lab.info/w/>). Информационные слои климатических данных импортированы из ресурса «WorldClim» (URL: <https://www.worldclim.org>). Учтены все температурные и влажностные переменные, помесечно и в составе биоклиматических предикторов, а также высота над ур. м. Общее число одновременно учтенных переменных составило 68 (48 климатических переменных, 19 биоклиматических и высота над ур. м.). Моделирование выполнено в высоком разрешении (0,5 аркминуты) (Fick, Hijmans, 2017), в автоматическом режиме с настройкой выходного формата Raw. Для лучшего отображения всех особенностей микроклимата число фоновых точек увеличено до 40 тысяч, в соответствии с рекомендациями ряда авторов (Lisovsky, Dudov, 2020, 2021; Lisovsky et al., 2020, 2021), которые предлагают увеличивать число фоновых точек для учета всех микроклиматических особенностей ареала. Это позволяет детализировать климатическую модель, но не приводит к локализации потенциального ареала главным образом только вокруг точек регистрации вида. Ранее было показано, что использование большого числа фоновых точек в значительной степени повышает достоверность прогнозной модели, построенной методом максимальной энтропии (Feeley, Silman, 2011; Sandanov, Naidanov, 2015). Число итераций увеличено до 1500 для достижения требуемого значения порога конвергентности. Числовые данные для таблиц импортированы из файлов с результатами анализа. Для удобства оценки уровней благоприятности (пригодности) все локации распределены на основе моделирования по квартильным группам, в соответствии с пороговыми значениями кумулятивного прогноза, равными 75,0, 50,0 и 25,0. Локации первой квартильной группы (Q1) характеризуются собственно благоприятными климатическими условиями обитания, второй (Q2) – умеренно благоприятными, третьей (Q3) – умеренно неблагоприятными, четвертой (Q4) – собственно неблагоприятными. Соответствующие пороговые значения сырого прогноза (raw prediction, RP), разделяющие квартильные группы, устанавливаются эвристически, для каждой модели они разные. В данном случае порог, разделяющий Q1 и Q2, равен $RP = 0,0334$; Q2 и Q3 – 0,017; Q3 и Q4 – 0,0021. В настройках процесса моделирования доля тестовых точек составила 50 %, число итераций составило 1120, значение порога конвергентности (convergence threshold) равно 0,0001.

Результаты исследования

На рисунке 1 представлена климатическая прогнозная модель распространения *E. rupestris* в пределах Алтайской горной страны, сгенерированная в компьютерной программе MaxEnt (Phillips, Dudik, 2008; Teoreticheskiye osnovy metoda Maxent. URL: <https://wiki.gis-lab.info/w/>). Выявленный ареал вида ограничен прямоугольным контуром белого цвета. В пределах данного контура отчетливо проявлена приуроченность наиболее благоприятных для данного вида локаций к речным долинам.

Euphorbia rupestris был описан К. Ф. Ледебуром в 1830 г. со скалистых солнечных берегов реки Чеган. В Гербарии Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН (LE) отсутствует гербарный экземпляр с этикеткой, соответствующей протологу, поэтому нами был выбран лектотип из аутентичного материала, собранного А. Бунге в Горном Алтае в 1826 г. (Baikov, 1994).

В секции *Holophyllum* Prokh. вид занимает обособленное положение и отнесен в самостоятельный видовой ряд *Rupestres* Prokh. (Baikov, 2000).

Разделение выборки значений на квартильные группы проведено в соответствии с пороговыми значениями кумулятивного прогноза, равными 75,0, 50,0 и 25,0. Соответствующие им эмпирические значения сырого прогноза приведены в табл. 1. В первую квартильную группу вошли четыре локалитета. Все они расположены в северной части ареала вида: три – в окрестностях д. Хабаровка по скалистым берегам реки Малый Ильгумень, еще один – в логу Большой Курманак южнее д. Купчегень (юго-западный локалитет № 11). Значения сырого прогноза в данной группе превышают 0,03446. Локальная популяция № 11 характеризуется максимальным значением $RP = 0,047104$.

Вторая квартильная группа самая многочисленная, в нее вошли 14 локалитетов. Две локаль-

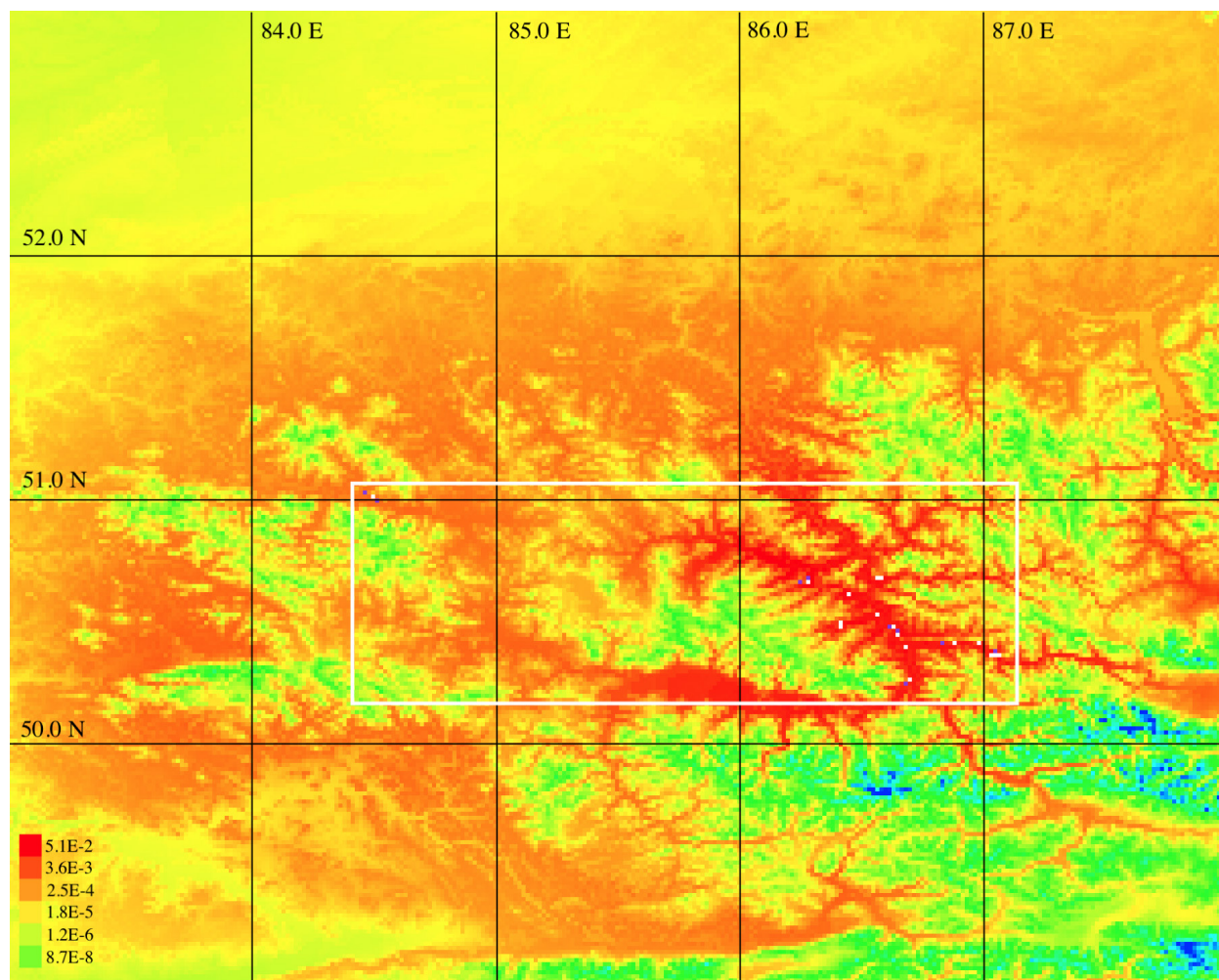


Рис. 1. Климатическая модель *Euphorbia rupestris* (Центральный Алтай). Прямоугольным контуром белого цвета обозначены границы территории, соответствующей карте на рис. 2 и включающей выявленный ареал вида. Подписи к цветовой шкале соответствуют пороговым значениям вероятности (сырого прогноза).

Таблица 1. Характеристики локаций, отнесенных к квартильным группам Q1 и Q2

1	2	3	4	5
<i>Квартильная группа Q1: 4 локалитета</i>				
11	86,436986	50,607074	0,04710454498887911	94,63058999635611
06	86,277518	50,653868	0,03563541940490025	81,98937884439158
08	86,28168	50,667872	0,03464742842997443	78,42591071490916
07	86,280559	50,676582	0,03446044223521545	77,89699969095547
<i>Квартильная группа Q2: 14 локалитетов</i>				
12	86,43918	50,608762	0,033422575241173154	74,96104635320931
18	86,640521	50,44789	0,03167372156364638	73,62061005579457
15	86,570334	50,672149	0,029062081158436146	71,6186717625074
09	86,404724	50,48324	0,02727968563306208	65,84661535430128
13	86,560518	50,525695	0,025839756229094752	63,619841781949106
17	86,624026	50,47555	0,025828143173789984	63,601882814949974
24	86,876267	50,410049	0,02551573150317718	63,11871773072473
25	86,974425	50,40354	0,025455563974611586	60,56705379457269
28	87,039039	50,370911	0,02240924887589721	56,42728086576694
10	86,411719	50,491863	0,022010864948149186	55,69393139540614
29	87,04192	50,366653	0,020912902347162553	53,97538664480809
16	86,612306	50,474659	0,020741723983766284	53,7074808722242
23	86,8182	50,40102	0,01974530055658646	52,93966660029915
19	86,64784	50,462695	0,019373514752212804	52,700329235747034

Примеч.: 1 – порядковый номер локальной популяции (нумерация проставлена в соответствии со значением долготы точки регистрации); 2 – значение долготы, в. д.; 3 – значение широты, с. ш.; 4 – значение сырого прогноза, RP; 5 – значение кумулятивного прогноза.

ные популяции (ЛП) расположены в северной части ареала вида: одна находится в логу Большой Курманак (северо-восточный локалитет № 12, RP = 0,033422), другая – заметно восточнее, на берегу реки Кадрин – правого притока Катунь (ЛП № 15, RP = 0,029062). Остальные 12 ЛП входят в состав южной части ареала вида, они находятся южнее 50,6 градуса северной широты. Значения RP в данной группе варьируют от 0,019373 до 0,033422 (табл. 1). К этой группе также принадлежат две ЛП в месте слияния двух притоков реки Большой Яломан (№№ 9 и 10), и следующая, расположенная в 12 км восточнее ЛП на Яломанбоне (№ 13), и далее в 8 км на юго-восток две ЛП рядом с древними могильниками восточнее устья реки Малый Яломан (№№ 16 и 17). На юго-восток от них расположены две ЛП в окр. горы Хрустальная (№№ 18 и 19), ЛП напротив устья р. Апшиякта – левого притока р. Чуй (№ 23), ЛП в 10 км западнее д. Иодро (№ 24), одна из двух ЛП в окр. д. Иодро (№ 25,

более западная) и две из четырех ЛП на Белом Боме (№№ 28 и 29, более северные).

Третья квартильная группа Q3 также достаточно многочисленная, в нее вошли восемь локалитетов (табл. 2). Как и вторая квартильная группа, она включает ЛП, расположенные как в северной, так и в южной частях ареала (по четыре ЛП в каждой). В северной это: две локации в окр. д. Тюдралы (ЛП №№ 03 и 04), одна ЛП из окр. д. Хабаровки (ЛП № 05) и одна ЛП на берегу р. Кадрин – правого притока Катунь (ЛП № 14, RP = 0,013602). В южной части это: скалы напротив устья р. Аргут (ЛП № 20), устье Чуи (ЛП № 21), ЛП в 8 км южнее д. Инегень (№ 22) и одна ЛП в окр. д. Иодро (№ 26, более восточная локация).

В четвертую квартильную группу Q4 вошли четыре ЛП, расположенные на краях ареала вида: две ЛП в окр. д. Тюдралы (ЛП №№ 01 и 02) на крайнем северо-западе и две ЛП в окр. Акбома (ЛП №№ 27 и 30) на крайнем юго-востоке.

Таблица 2. Характеристики локаций, отнесенных к квартильным группам Q3 и Q4

1	2	3	4	5
Квартильная группа Q3: 8 локалитетов				
26	86,975647	50,402846	0,01707208254756638	49,69106359350014
22	86,684514	50,25789	0,0170412365633016	47,986839678599495
	86,684531	50,25749		
	86,6846	50,25788		
	86,68462	50,2581		
	86,68539	50,25808		
21	86,672879	50,39598	0,014967586214721872	46,28062376768194
20	86,671357	50,240344	0,014732977720315774	45,05268004808833
14	86,562116	50,66692	0,013602024677724027	41,91461739703256
05	86,242075	50,650875	0,007480601232016472	33,444344040382994
03	84,498467	51,001873	0,002586394790211682	26,201008144569272
04	84,500849	50,996769	0,0025371192164962827	25,947994836201445
Квартильная группа Q4: 4 локалитета				
02	84,483399	51,003352	0,0020705495871941315	24,545018416572486
30	87,050245	50,358447	0,0019795064063148258	24,274092183653465
01	84,460187	51,018668	0,0016551696225950386	22,75452412612326
27	87,02233	50,365887	0,0005800468488942501	14,006499081700802

Примеч.: 1 – порядковый номер локальной популяции (нумерация проставлена в соответствии со значением долготы точки регистрации); 2 – значение долготы, в. д.; 3 – значение широты, с. ш.; 4 – значение сырого прогноза, RP; 5 – значение кумулятивного прогноза.

Значения сырого прогноза здесь не превышают 0,00208, то есть в 10–15 раз меньше, чем в квартильных группах Q1 и Q2.

Обсуждение результатов

В окр. д. Тюдрала на р. Чарыш находится самая западная точка ареала *E. rupestris*. Вид был зарегистрирован здесь в 1902 г. (сборы В. И. Верещагина), и после этого его нахождение здесь не было подтверждено. Все четыре локации, связанные со скалистыми местообитаниями, согласно полученной модели, находятся в неблагоприятных или умеренно неблагоприятных микроклиматических условиях (табл. 2, ЛП №№ 01–04). Вероятность нахождения в них данного вида варьирует от 0,00058 в наиболее западной локации до 0,002586 в наиболее восточной локации, то есть возрастает в направлении на восток более чем в четыре раза.

Ближайшие к западной точке ареала вида локации расположены существенно восточнее – в окр. д. Хабаровка на скалистом левом берегу р. Малый Ильгумень. За исключением наиболее

западной локации, характеризующейся умеренно неблагоприятным микроклиматом, переходным к собственно неблагоприятному (табл. 2, ЛП № 05, RP = 0,00748), остальные локации находятся в условиях благоприятного микроклимата. Значения RP здесь варьируют от 0,03446 до 0,03543 (табл. 1, ЛП №№ 06–08), то есть близки к наиболее высоким. Следовательно, нужно считать данный участок ареала находящимся в экологическом оптимуме. Вид был собран здесь в 1903 г. П. Н. Крыловым и впоследствии здесь не отмечался (Baikov, 2007).

Максимальное значение вероятности нахождения вида выявлено для локации, расположенной в логу Большой Курманак южнее д. Купчегень (юго-западный локалитет № 11, RP = 0,047104, что в 1,3 раза выше, чем в окр. д. Хабаровка). Вторая локация в этом логу, для которой характерны скалистые обнажения, имеет относительно более низкое значение RP (ЛП № 12, RP = 0,033422), сопоставимое со значениями вероятности в локациях из окр. д. Хабаровка.

Весьма примечательна находка вида заметно восточнее, на берегу р. Кадрин – правого при-

тока Катунь (ЛП № 15, $RP = 0,029062$), в климатических условиях, которые оцениваются как умеренно благоприятные. Расположенная поблизости локация № 14 характеризуется умеренно неблагоприятным микроклиматом: значение вероятности нахождения здесь вида более чем в 2 раза ниже ($RP = 0,013602$). Такое различие обусловлено разной экспозицией склонов: вероятность нахождения вида на склонах южной экспозиции заметно более высокая.

Остальные 12 локаций расположены южнее и ближе друг к другу, они формируют южную часть ареала вида. Три локации приурочены к бассейну р. Большой Яломан (две у слияния двух вершин и одна – близ устья, на склонах г. Яломан-бом). Значения вероятности нахождения здесь растений данного вида указывают на умеренно благоприятный микроклимат локаций (табл. 1, ЛП №№ 9, 10, 13) и варьируют в интервале от 0,02201 до 0,027279. Вместе с расположенными южнее локациями близ устья р. Малый Яломан они образуют единый кластер территориально близких локаций со сходными значениями RP (рис. 2). С ними могут быть объединены две локации у г. Хрустальная (№№ 18 и 19).

Локальная популяция, обитающая на скалах в устье р. Чуя, согласно полученным цифровым

данным, находится в умеренно неблагоприятных климатических условиях (ЛП № 21, $RP = 0,014967$). Мы проводили наблюдения за возрастной структурой этой микропопуляции и подтвердили наличие в ней, начиная с 2005 года, только особей сенильного возрастного состояния.

Значительный научный интерес представляет локальная популяция, расположенная на самых южных пределах распространения вида – в 8 км южнее д. Инегень. В последние годы оттуда, благодаря усилиям профессора Томского государственного университета, д. б. н. А. И. Пяка, ведущего в Сибири специалиста по алтайским петрофитам, а также местных натуралистов, стали известны находки растений, которые по морфологическим признакам ближе к *E. rupestris*, чем к другим видам рода *Euphorbia* L. из Горного Алтая. Варьирование количественных признаков этих растений еще предстоит изучить и сравнить с типичными представителями *E. rupestris*. Не исключено, что это отдельный подвид или самостоятельный вид (рис. 3). Его отличительные черты: высота растений более 20 см, лучи верхушечного зонтика преимущественно трехраздельные, в основании вторичных лучей располагаются тройчатые наружные

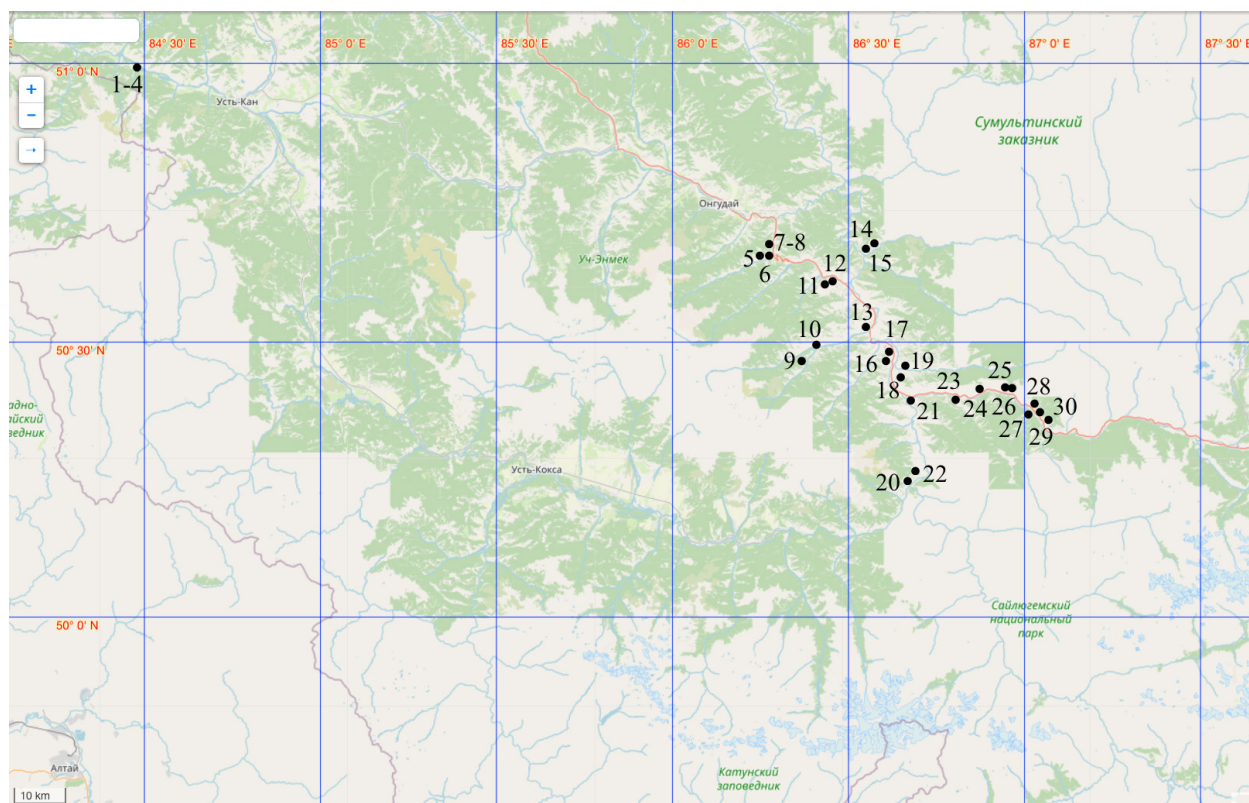


Рис. 2. Ареал *Euphorbia rupestris* (Центральный Алтай). Размерность масштабной линейки – 10 км. Номерами обозначены локальные популяции в соответствии с их нумерацией в таблицах 1–2 и тексте.

брактеи заметно более крупных размеров, чем у типичных растений *E. rupestris* (рис. 4). В базе данных «iNaturalist» (Pyak, 2023) имеется девять различных точек регистрации растений из популяции, расположенной южнее д. Инегень. Все они расположены близко друг к другу и могут рассматриваться как одна локация (табл. 2, ЛП № 22). Вероятность нахождения вида здесь равна 0,017041, что соответствует умеренно неблагоприятным климатическим условиям. Такая оценка условий обитания, возможно, связана с тем, что данная локальная популяция должна быть отнесена к таксону подвидового или видового ранга, отличного от *E. rupestris*.

Напротив устья Аргута находится самая южная из известных локаций *E. rupestris* (№ 20, см. рис. 2; 50,24 с. ш.). Оставшиеся восемь локаций находятся в бассейне р. Чуя. Три локации расположены в умеренно благоприятных микроклиматических условиях: напротив устья р. Апшиякта (№ 23), в 10 км западнее д. Иодро (№ 24), на скалах в окр. д. Иодро (№ 25). Более восточная локация в окр. д. Иодро (№ 26) находится в умеренно неблагоприятных климатических условиях. Группа самых восточных локаций находится в окр. горы Белый Бом (Акбом). Две более северные локации (№№ 28 и 29) характеризуются умеренно благоприятным климатом, тогда как чуть более южные (№№ 27 и 30) располагаются в собственно неблагоприятных климатических условиях. Итак, выше подробно охарактеризованы все известные локации *E. rupestris*.

Важно отметить, что, как и в случае с ареалом *Euphorbia pilosa* L., более северные локации *E. rupestris* характеризуются более благоприятным климатом, чем расположенные в центре ареала и в его южной части (Baikov, Baikova, 2025).

Лимитирующие факторы. Согласно полученной модели, основными лимитирующими факторами, вносящими наибольший вклад в построенную климатическую модель, выступают: высота над ур. м. – 26,3 %, суммы атмосферных осадков в марте – 21,3 % и в июне – 11,7 %. Суммарно эти факторы составляют 59,3 %. Важными факторами также являются: суммы атмосферных осадков в августе (9,8 %), сентябре (6,1 %), ноябре (4,9 %) и декабре (4,9 %). Таким образом, *ключевыми климатическими факторами в данной модели выступают атмосферные осадки в летний и осенний периоды года.* Значение минимальных температур крайне незначительно и наиболее заметно в апреле (1,6 %). Из биокли-

матических переменных более значима среднегодовая температура приземного слоя воздуха (0,5 %).

С помощью процедуры Jackknife получены уточненные данные по группе наиболее значимых переменных. Ими стали: высота над ур. м. (1,7 условных единиц – у. е.), суммы атмосферных осадков в январе (1,7 у. е.), в марте (1,45 у. е.), в наиболее холодную четверть года – в Сибири это обычно декабрь, январь и февраль (1,4 у. е.) и в феврале (1,35 у. е.).

Рекомендации по настройкам процесса моделирования. Настройки, использованные при моделировании представленной климатической модели, можно рекомендовать для выполнения других исследований, особенно при малом числе точек регистрации изучаемого таксона. Особое внимание нужно уделить пороговому значению числа итераций, поскольку установленное по умолчанию значение 500 во многих случаях не позволяет достичь значения порога конвергентности. В данном случае значение порога конвергентности 0,00001 было достигнуто при числе итераций 1120.

Выявленные хорологические и микроклиматические особенности ареала *E. rupestris* подтверждают обособленное положение вида в секции *Holophyllum* и его значительный возраст, обусловленный принадлежностью к древнему петрофитону (Kamelin, 1998; Pyak, 2003).

В отличие от распространившейся в последнее время практики моделирования климатических прогнозных ареалов только по биоклиматическим показателям (Vaganov et al., 2023), мы считаем важным использование наряду с ними всех климатических показателей. В этом случае будет исключен пропуск информативных переменных, а построенная модель будет характеризоваться высокой детализацией.

Общая численность особей *E. rupestris* оценивается в 1–5 тысяч экземпляров. Наиболее детально изученная популяция в окр. устья р. Чуи характеризуется относительно небольшим числом особей (около 200), которые собраны в группы по 3–5 особей. Эти группы хорошо пространственно обособлены друг от друга. Преобладают особи субсенильного и сенильного возрастных состояний. Доля растений генеративного возрастного состояния не превышает 10 % (Baikov, Pshenichnaya, 2007). Возобновление исключительно семенное при низкой семенной продуктивности. Возможно, именно эти особенности размножения, наряду с узкой экологиче-



Рис. 3. *Euphorbia rupestris* “inegensis” в природной обстановке (фото А. И. Пяка).



Рис. 4. *Euphorbia rupestris* в природной обстановке (фото Н. Шарниной).

ской амплитудой, определяют редкость данного вида в природе.

Вопросы охраны ареала *E. rupestris* до настоящего времени не разработаны. Особое внимание, с учетом проведенного геоэкологического анализа, вызывают локальные популяции вида, расположенные на окраинах ареала, в климатических условиях, которые, согласно значениям сырого прогноза, были оценены как собственно неблагоприятные (четвертая квартильная группа). К ним относятся локации №№ 1–2 в окр. д. Тюдрала (крайняя северо-западная точка ареала, см. рис. 1, 2) и локации № 27 и № 30 в окрестностях г. Белый Бом (крайние юго-восточные локации). Согласно прогнозным значениям, полученным в результате геоэкологического анализа, именно здесь необходим мониторинг состояния локальных популяций вида, в том числе оценка численности растений и, при возможности, построение возрастных спектров популяций.

Выполненное исследование наглядно демонстрирует перспективы геоэкологического анализа пространственного распространения модельных видов. На основе полученных новых данных, в том числе значений сырого и кумулятивного прогнозов, могут быть подготовлены научно обоснованные рекомендации по охране наиболее уязвимых мест локализации *E. rupestris*, особенно в местах с заметной антропогенной нагрузкой (Чуйский тракт). Предложенные ранее (Baikov et al., 2021a, b) критерии оценки благоприятности среды обитания в ячейках раstra пространственной модели, содержащих точки регистрации вида, следует считать менее точными, чем прямой учет значений сырого прогноза. Описанный выше подход может быть рекомендован как наиболее детальный и точный для выполнения геоэкологического анализа пространственного распространения

других видов растений и иных биологических объектов, чьи ареалы определяются действием климатических факторов, в особенности при малом числе точек их регистрации.

Дополнительную информацию можно получить путем оценки значений сырого прогноза в зависимости от положения точки регистрации вида в конкретной широтной или долготной полосе местности (Baikov, Baikova, 2025 a, b). Целесообразно также использовать картографические материалы и спутниковые снимки высокого разрешения (масштаб 1 : 20000 и крупнее) таких интернет-ресурсов как “Google Maps” (Google Maps. URL: <https://www.google.com>), «Яндекс Карты» (Yandex karty. URL: <https://yandex.ru/maps>), а также “Esri. GIS Mapping Software, Location Intelligence & Spatial Analytics” (Esri. URL: <http://www.esri.com>) и “OpenTopoMap” (OpenTopoMap. URL: <https://opentopomap.org>).

Благодарности

Авторы благодарны профессору Томского государственного университета д. б. н. А. И. Пяку за трудоемкие полевые исследования по выявлению местонахождений *E. rupestris* на территории Республики Алтай и их регистрации на Интернет-ресурсе iNaturalist.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Центрального сибирского ботанического сада Сибирского отделения Российской академии наук (ЦСБС СО РАН) по теме № 126021217213-2 «Разнообразие сосудистых растений и криптогамных организмов Азиатской России и сопредельных территорий: состав, особенности, генезис». При подготовке публикации использованы материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН УНУ «Гербарий высших сосудистых растений, лишайников и грибов (NS, NSK)», USU 440537.

REFERENCES / ЛИТЕРАТУРА

- Baikov K. S.** 1994. The position of Siberian *Euphorbia* species in the system of the genus. *Byull. Moskovsk. Obshch. Isp. Prir., Otd. Biol.* 99, 6: 122–128. [In Russian] (**Байков К. С.** Положение сибирских видов в системе рода *Euphorbia* L. // Бюл. МОИП. Отд. Биол., 1994. Т. 99, вып. 6. С. 122–128).
- Baikov K. S.** 2000. The system of the *Holophyllum* section of the genus *Euphorbia*. *Byull. Moskovsk. Obshch. Isp. Prir., Otd. Biol.* 105, 5: 44–47. [In Russian] (**Байков К. С.** Система секции *Holophyllum* рода *Euphorbia* // Бюл. МОИП. Отд. Биол., 2000. Т. 105, вып. 5. С. 44–47).
- Baikov K. S.** 2007. *Molochai Severnoi Asii [Euphorbias of Northern Asia]*. Novosibirsk: Nauka. 362 pp. [In Russian] (**Байков К. С.** Молочай Северной Азии. Новосибирск: Наука, 2007. 362 с.).
- Baikov K. S., Baikova E. V.** 2025a. Ecological features of the range of *Euphorbia pilosa* (Euphorbiaceae) at the northern limits of distribution in Western Siberia. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal [Siberian Ecological Journal]* 1: 86–97. [In Russian] (**Байков К. С., Байкова Е. В.** Экологические особенности ареала *Euphorbia pilosa* (Euphorbiaceae)

на северном пределе распространения в Западной Сибири // Сибирский экологический журнал, 2025. № 1. С. 86–97). <https://doi.org/10.15372/SEJ20250106>

Baikov K. S., Baikova E. V. 2025b. Ecological features of the range of *Euphorbia pilosa* (Euphorbiaceae) at the northern limits of distribution in Western Siberia. *Contemporary Problems of Ecology* 18, 1: 72–81. <https://doi.org/10.1134/S1995425524700902>

Baikov K. S., Krivenko D. A., Murtazaliev R. A., Murashko V. V., Baikova E. V. 2021a. Spatial monitoring of the modern environmental situation in localities of *Vavilovia formosa* (Fabaceae) based on predictive climatic modeling. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal [Siberian Ecological Journal]* 2: 227–241. [In Russian] (**Байков К. С., Кривенко Д. А., Муртазалиев Р. А., Мурашко В. В., Байкова Е. В.** Пространственный мониторинг современной экологической ситуации в локалитетах *Vavilovia formosa* (Fabaceae) по данным прогнозного климатического моделирования // Сибирский экологический журнал, 2021. № 2. С. 227–241). <https://doi.org/10.15372/SEJ20210208>

Baikov K. S., Krivenko D. A., Murtazaliev R. A., Murashko V. V., Baikova E. V. 2021b. Spatial monitoring of the modern environmental situation in localities of *Vavilovia formosa* (Fabaceae) based on predictive climatic modeling. *Contemporary Problems of Ecology* 14, 2: 182–192. <https://doi.org/10.1134/S1995425521020025>

Baikov K. S., Pshenichnaya I. N. 2007. *Euphorbia rupestris* C. A. Mey. In: *Krasnaya kniga Respubliki Altay (rasteniya) [The Red Book of the Altai Republic (plants)]*. Gorno-Altaysk: Gorno-Altayskaya tipografia. Pp. 109–110. [In Russian] (**Байков К. С., Пшеничная И. Н.** Молочай скальный – *Euphorbia rupestris* C. A. Mey. // Красная книга Республики Алтай (растения). Горно-Алтайск: ОАО «Горно-Алтайская типография», 2007. С. 109–110).

Esri [2025]. *GIS Mapping Software, Location Intelligence & Spatial Analytics*. URL: <http://www.esri.com> (Accessed 23 August 2025).

Feeley K. J., Silman M. R. 2011. Keep collecting: accurate species distribution modelling requires more collections than previously thought. *Diversity and Distributions* 17: 1132–1140. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00813.x>

Fick S. E., Hijmans R. J. 2017. WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37(2): 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

Geltman D. 2024. *Euphorbia rupestris*. In: *iNaturalist contributors, iNaturalist* [2026]. iNaturalist Research-grade Observations. iNaturalist.org. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/ab3s5x> accessed via GBIF.org on 2026-07-18. URL: <https://www.gbif.org/occurrence/4863768659>

Google Maps [2025]. URL: <https://www.google.com> (Accessed 10 October 2025).

iNaturalist contributors, iNaturalist [2026]. *iNaturalist Research-grade Observations*. iNaturalist.org. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/ab3s5x> (Accessed via GBIF.org on 04 November 2025).

Kamelin R. V. 1998. *Materialy po istorii flory Asii (Altaiskaya gornaya strana) [Materials on the history of the flora of Asia (the Altai mountain region)]*. Barnaul: Altay State University. 240 pp. [In Russian] (**Камелин Р. В.** Материалы по истории флоры Азии (Алтайская горная страна). Барнаул: Алтайский гос. ун-т, 1998. 240 с.).

Lisovsky A. A., Dudov S. V. 2020. Advantages and limitations of application of the species distribution modeling methods. 2. MaxEnt. *Zhurnal obshchey biologii [Journal of General Biology]* 81, 2: 135–146. [In Russian] (**Лисовский А. А., Дудов С. В.** Преимущества и ограничения методов экологического моделирования ареалов. 2. MaxEnt // Журнал общей биологии, 2020. Т. 81, № 2. С. 135–146). <https://doi.org/10.31857/S0044459620020049>

Lisovsky A. A., Dudov S. V. 2021. Species-distribution modeling: advantages and limitations of its application. 2. MaxEnt. *Biology Bulletin Reviews* 11, 3: 265–275. <https://doi.org/10.1134/S2079086421030087>

Lisovsky A. A., Dudov S. V., Obolenskaya E. V. 2020. Advantages and limitations of application of the species distribution modeling methods. 1. General approaches. *Zhurnal obshchey biologii [Journal of General Biology]* 81, 2: 123–134. [In Russian] (**Лисовский А. А., Дудов С. В., Оболенская Е. В.** Преимущества и ограничения методов экологического моделирования ареалов. 1. Общие подходы // Журнал общей биологии, 2020. Т. 81, № 2. С. 123–134). <https://doi.org/10.31857/S0044459620020037>

Lisovsky A. A., Dudov S. V., Obolenskaya E. V. 2021. Species-distribution modeling: advantages and limitations of its application. 1. General approaches. *Biology Bulletin Reviews* 11, 3: 254–264. <https://doi.org/10.1134/S2079086421030075>

OpenTopoMap [2025]. *Topographische Karten aus OpenStreetMap*. URL: <https://opentopomap.org> (Accessed 24 September 2025).

Phillips S. J., Dudik M. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161–175. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05203.x>

Pyak A. I. 2003. *Petrophytes of Russian Altai*. Tomsk: Tomsk State University. 202 pp. [In Russian] (**Пяк А. И.** Петрофиты Русского Алтая. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2003. 202 с.).

Pyak A. 2023. *Euphorbia rupestris*. In: *iNaturalist contributors, iNaturalist* [2026]. iNaturalist Research-grade Observations. iNaturalist.org. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/ab3s5x> accessed via GBIF.org on 2026-07-18. URL: <https://www.gbif.org/occurrence/4129953931>

Sandanov D. V., Naidanov B. B. 2015. Spatial modeling of East Asian plant species distribution: current condition and future dynamic under climatic change. *Rastitelnyy mir Aziatskoy Rossii [Plant life of Asian Russia]* 3: 30–35. [In

Russian] (**Санданов Д. В., Найданов Б. Б.** Пространственное моделирование ареалов восточно-азиатских видов растений: современное состояние и динамика под влиянием климатических изменений // Растительный мир Азиатской России, 2015. № 3(19). С. 30–35).

Teoreticheskiye osnovy metoda Maxent [*Theoretical foundations of the Maxent method*] [2025]. [In Russian] (*Теоретические основы метода Maxent* [2025]. URL: <https://wiki.gis-lab.info/w/> [дата обращения: 20.10.2025]).

Vaganov A. V., Zholnerova E. A., Zaikov V. F., Shmakov A. I. Climatic modeling of the habitat suitability of *Erythronium sibiricum* (Fisch. et C. A. Mey.) Krylov. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [*Theoretical and applied ecology*] 3: 208–214. [In Russian] (**Ваганов А. В., Жолнерова Е. А., Зайков В. Ф., Шмаков А. И.** Климатическое моделирование пригодности местообитаний *Erythronium sibiricum* (Fisch. et C. A. Mey.) Krylov // Теоретическая и прикладная экология, 2023. № 3. С. 208–214). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-3-208-214>

WorldClim [2025]. *Global climate and weather data*. URL: <https://www.worldclim.org> (Accessed 30 September 2025).

Yandex karty [2025]. Transport, navigatsiya, poisk mest [*Yandex Maps. Transport, navigation, location search*] [In Russian] (*Яндекс карты* [2025]. Транспорт, навигация, поиск мест. URL: <https://yandex.ru/maps> [дата обращения: 26.09.2025]).