

УДК 581.5/.9+574.3

doi: 10.17223/19988591/38/5

Д.В. Санданов, Б.Б. Найданов, В.М. Шишмарев

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

Влияние региональных и локальных факторов среды на распространение и структуру популяций *Scutellaria baicalensis* Georgi

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ
(проект №16-54-53057) и частично по бюджетной теме № VI.52.1.7.

На протяженном широтно-долготном градиенте на территории Восточной Азии проведено комплексное изучение популяций *Scutellaria baicalensis* Georgi и фитоценозов с участием вида. Изучена онтогенетическая структура 48 популяций, проанализировано 488 геоботанических описаний. ССА-ординация выявила, что видовое богатство сообществ с участием изучаемого вида связано с фактором увлажнения. На уровне фитоценозов региональные и локальные факторы среды показывают сходные тренды. При этом основные макроклиматические показатели являются лимитирующими распространение вида. Среди региональных факторов выявлены более сильные взаимосвязи демографических параметров с переменными ENVIREM по сравнению с переменными BIOCLIM. Локальными факторами, связанными с онтогенетической структурой популяций, являются степень пастбищной дигрессии и экотопологические условия местообитаний вида. Полученные результаты свидетельствуют о возможности значительного ухудшения состояния периферийных популяций *S. baicalensis* при интенсификации процессов аридизации в регионе. Поэтому необходим мониторинг численности и демографических показателей в краевых местонахождениях, находящихся на лимите увлажнения.

Ключевые слова: факторы среды; климатические переменные; локальные условия; экологические шкалы; структура популяций и сообществ.

Введение

При изучении биологических особенностей вида важной характеристикой являются динамика и состояние его популяций в разных частях ареала. Популяционный анализ в различных эколого-географических условиях позволяет выявить факторы, ограничивающие распространение вида и лимитирующие его численность. Известно, что в различных частях ареалов растений наблюдаются отличия в численности и особенностях пространственного размещения. В центральной части ареала вид реализует свои эколого-ценотические и биологические потенции, а на периферии отмечаются

ослабление ценотического статуса, снижение численности и жизнеспособности популяций. Это связано с тем, что для центра ареала вида характерно наличие оптимальных условий для произрастания. При продвижении к периферии возрастает напряженность абиотических и биотических факторов и сокращается площадь пригодных местообитаний. Эту закономерность часто называют «моделью изобильного центра» (abundance-centre model), и некоторые авторы рассматривают ее как общее биогеографическое правило для всех видов [1, 2]. Необходимо отметить, что часто выделение центра и краев ареала происходит по географическому признаку. Однако при этом географически периферические популяции видов могут не быть экологически периферическими вследствие наличия локальных благоприятных условий [3]. Часто на структуру популяций видов оказывают влияние микроклимат и другие локальные условия местообитаний. Особенно это касается реликтовых видов, для них изолированные периферические популяции часто приурочены к рефугиумам, условия которых являются оптимальными для произрастания.

Шлемник байкальский *Scutellaria baicalensis* Georgi – реликтовый вид, распространенный в степях Восточной Азии. Это растение широко используется в народной и традиционной медицине. В многочисленных публикациях подробно изучен химический состав растения (в основном корней) и приведены данные по фармакологической активности основных биологически активных веществ [4–6]. В последние годы активно исследуется генетическое разнообразие вида в природных [7] и культурных популяциях [8] для оценки характера накопления основных действующих веществ – флавоноидов, а также генофонда *S. baicalensis* в целях дальнейшего использования лекарственного сырья [9]. Ранние исследования по экологии и структуре популяций вида в основном проводились на территории Восточного Забайкалья и Дальнего Востока России и при этом не охватывали центральную и периферийные части ареала вида в Монголии и Китае.

Поскольку напряженность факторов изменяется в значительной степени на различных участках ареала, нами выдвинуто предположение, что отдельные факторы или их комплекс могут оказывать влияние на демографию популяций. Поэтому целью нашего исследования явился анализ различных экологических факторов на локальном и региональном уровнях с оценкой их влияния на распространение и структуру популяций *S. baicalensis* в различных регионах Восточной Азии.

Материалы и методики исследования

Сбор материала проводился в различных регионах Восточной Азии: Забайкальский край России, Восточный аймак Монголии и провинция Внутренняя Монголия Китая. Изучены две группы факторов, оказывающих воздействие на онтогенетическую структуру популяций *S. baicalensis*: региональные (набор различных макроклиматических переменных и индек-

сов) и локальные (увлажненность местообитаний, богатство и засоленность почвы, экотопологические характеристики, выпас). В общий анализ включено 19 биоклиматических переменных BIOCLIM (www.worldclim.org) и 9 переменных и индексов ENVIREM [10]. На основе точных географических координат для каждого местообитания получены количественные данные, которые в дальнейшем вовлекались в общий анализ. Изученные популяции находились на разнонаправленных градиентах основных климатических параметров, что в целом обусловило мозаику различных местообитаний (рис. 1).

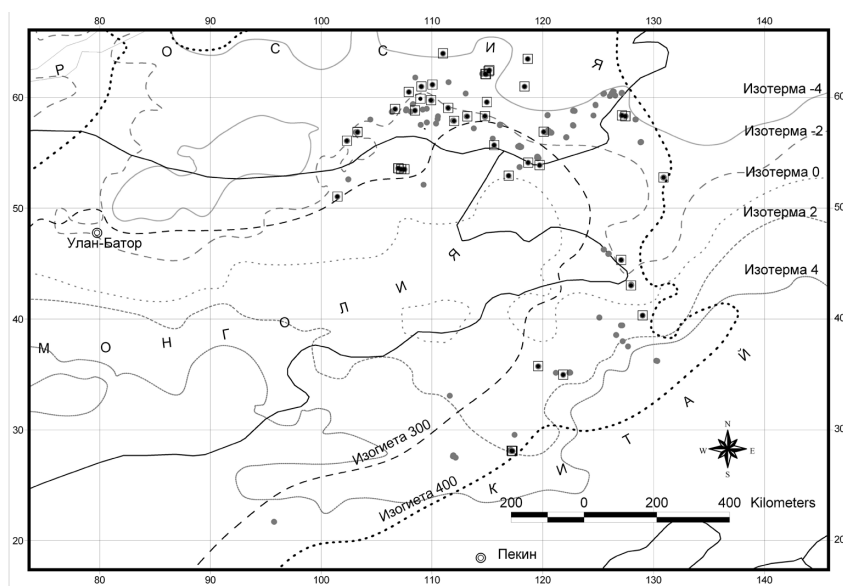


Рис. 1. Распределение основных макроклиматических параметров на изучаемой территории. Серыми точками обозначены местонахождения, где выполнялись геоботанические описания, квадратами – изученные популяции *Scutellaria baicalensis*. Изотермы показаны серыми линиями, изогеты – черной пунктирной и точечной линиями

[Fig. 1. Distribution of the main macroclimatic parameters in the study area. Places, where relevés were taken, are marked by gray points, studied populations of *Scutellaria baicalensis* - by white quadrates. Isotherms are showed by gray lines, isohyets - by black dash and dotted lines]

Для анализа экологической приуроченности вида использовано 128 геоботанических описаний из коллекции «Database of Siberian Vegetation (DSV)» международной метабазы фитоценозов «Global Index of Vegetation-Plot Databases» под индексом AS-RU-002 [11] и 360 описаний с территории Забайкалья, Монголии и Китая (261 описание выполнено авторами статьи, 99 – А.Ю. Королёком и Н.А. Дулеповой). Хранение и обработка данных проводились с использованием программ IBIS 6.2 [12]. Для выявления экологических факторов, отвечающих за дифференциацию сообществ, применен канонический корреляционный анализ CCA, реализованный в

программе PAST 3.06 [13]. Для характеристики экологической структуры растительных сообществ с участием *S. baicalensis* использованы экологические оптимумы растений Южной Сибири [14]. Влияние выпаса оценивалось по модифицированной 5-балльной шкале пастбищной дигрессии (градации: 1 – влияние выпаса очень слабое или отсутствует, 2 – слабый выпас, 3 – умеренный выпас, 4 – сильный выпас, 5 – сбой). Для анализа эколого-топологической приуроченности вида нами использован метод «модель сопки» [15], модифицированный ранее для оценки различных параметров видов [16]. В целом изучено 48 ценопопуляций (ЦП) вида в разных частях ареала (см. рис. 1). Для изучения онтогенетической структуры и плотности ЦП в каждой из них на трансекте закладывалось 25–45 пробных площадок размером 1 м². Использовались линейные трансекты, шаг трансекты зависел от площади, занимаемой конкретной ценопопуляцией. Для характеристики онтогенетической структуры применяли общепринятые демографические показатели: индексы восстановления и замещения [17], индекс старения [18], индексы возрастности и эффективности [19]. Экологическая плотность (экз./м²) рассчитывалась исходя из численности особей на единицу обитаемого пространства [20]. Взаимозависимость факторов среды и параметров структуры ценопопуляций изучалась с помощью корреляционного анализа. Степень связи определялась значениями коэффициента корреляции (r) между изучаемыми признаками. Все изученные параметры (кроме проективного покрытия изучаемого вида) характеризовались нормальным распределением, поэтому для анализа использовались линейные корреляции по Пирсону. Статистическая обработка данных проводилась в программе PAST 3.06 [13].

Результаты исследования и обсуждение

Scutellaria baicalensis – травянистый стержнекорневой поликарпик, размножение осуществляется только семенным путем. Вид встречается в различных вариантах степных растительных сообществ, но большей частью приурочен к нителистниковым степям. Ранее [21, 22] подробно изучены фитоценотическая приуроченность *S. baicalensis* и взаимосвязи эколого-ценологических условий с демографическими показателями популяций.

Основная часть ареала вида в России сосредоточена в Восточном Забайкалье, что подтверждается ранними исследованиями [4]. На Дальнем Востоке вид встречается спорадически и представлен небольшими популяциями, поэтому внесен в региональные списки охраны [23, 24]. Центральная часть ареала вида сосредоточена в Восточном Китае, отмечены единичные находки вида на территории Северной Кореи и Японии. Изучение ареала вида показало, что его северная граница ограничена изотермой -4°C , западная – изогистой в 200 мм (рис. 2).

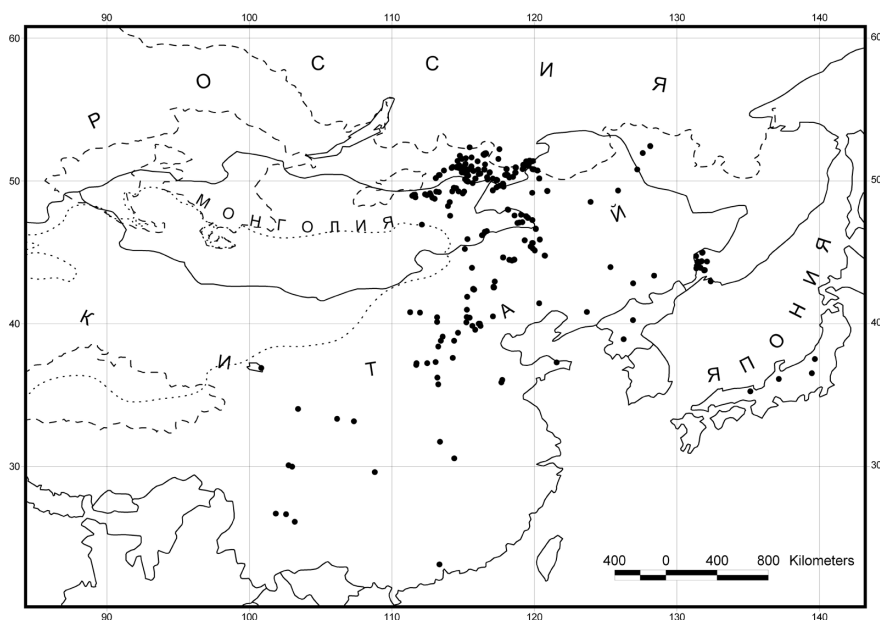


Рис. 2. Распространение *Scutellaria baicalensis*. Точками обозначены местонахождения вида, пунктирной линией – изотерма -4°C , точечной – изогия 200 мм
 [Fig. 2. Distribution of *Scutellaria baicalensis*. Dots mark species locations, dashed line -4°C isotherm, dotted line - 200 mm isohyet]

Поскольку для распространения вида более важным является широтный градиент (см. рис. 1), нами отобрано 153 описания с участием *S. baicalensis* из провинции Внутренняя Монголия Китая, выполненных в степных сообществах в направлении от севера к югу. ССА-ординация показала существование нескольких градиентов, связанных с видовым составом сообществ (рис. 3). Первая ось на схеме ординации в первую очередь связана с фактором увлажнения, который определяется как осадками (Bio-12), так и увлажнением почв (IVM). С увеличением увлажнения закономерно увеличивается видовое богатство сообществ (Div). Противоположную направленность имеет фактор теплообеспеченности (Bio-1). В целом первая ось является основной (eigenvalue = 40,29%). На взаимосвязанных градиентах увеличения увлажнения и уменьшения температур сообщества выстроились от сухих степей до остепненных лугов и луговых степей. Вторая ось менее значима (eigenvalue = 22,57%). В большей мере за распределение описаний на ней отвечают различия в высоте над уровнем моря. Так, в верхней части ординационной схемы сгруппировались описания в диапазоне 1 100–1 500 м, а в нижней – ценозы при высотах 700–1 100 м.

Ранее проведенный анализ фитоценотической приуроченности вида выделил пять основных типов растительных сообществ, которые характеризовались близким флористическим составом вследствие экологического

сходства их местообитаний [22]. Проведенная ординация всех описаний, где изучались популяционные характеристики, показала сходство ряда местообитаний из Забайкалья и Внутренней Монголии (рис. 4). В этом плане наименьшим уровнем увлажненности характеризовались растительные сообщества Монголии, что также подтверждается их позициями на периферии ареала вида при лимите увлажнения (см. рис. 1).

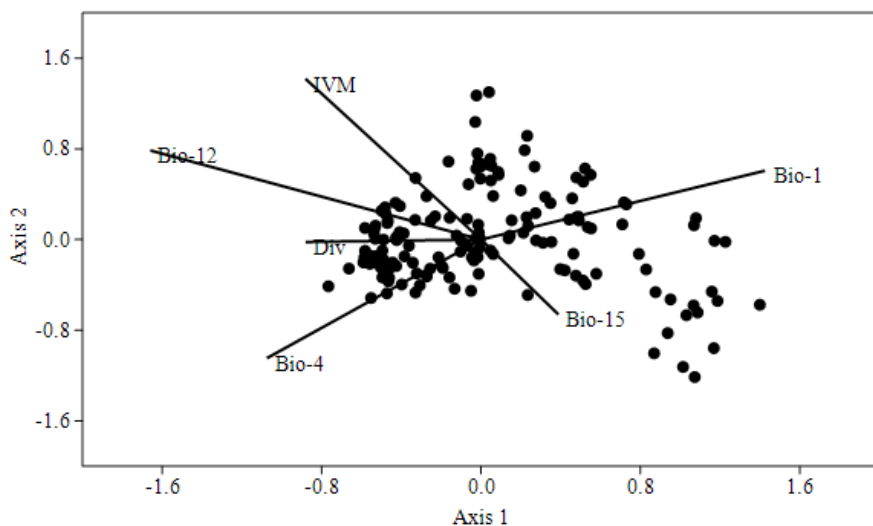


Рис. 3. CCA-ординация описаний с участием *Scutellaria baicalensis*.

Bio-1 – среднегодовая температура, Bio-4 – сезонность температуры, Bio-12 – годовая сумма осадков, Bio-15 – сезонность осадков, Div – число видов на описание, IVM – градации увлажнения по экологическим шкалам)
 [Fig. 3. CCA-ordination of relevés with *Scutellaria baicalensis*. Bio-1 - Mean annual temperature, Bio-4 - Temperature seasonality, Bio-12 - Mean annual precipitations, Bio-15 - Precipitation seasonality, Div - Species richness on each plot, IVM - Indicator value for moisture]

Для оценки влияния пастбищной дигрессии нами отобраны модельные популяции в одинаковых фитоценозах для трех географически удаленных регионов: Забайкалье (нителистниковая степь), Монголия (крыловоковыльная степь), Внутренняя Монголия (байкальскоковыльная степь) (таблица). При слабом уровне выпаса для популяций *S. baicalensis* характерны наличие полноценного онтогенетического спектра и высокая плотность популяций. При умеренной пастбищной дигрессии плотность популяций снижается и происходит выпадение ювенильных и имматурных особей, которые наиболее восприимчивы не только к поеданию, но и к вытаптыванию. При перевыпасе происходит частичная или полная элиминация особей прегенеративного и / или сенильного периода и наблюдаются популяции регрессионного типа. При этом отмечаются низкие показатели плотности популяций, которые в основном представлены генеративными особями, устойчивыми к пастбищной нагрузке (таблица).

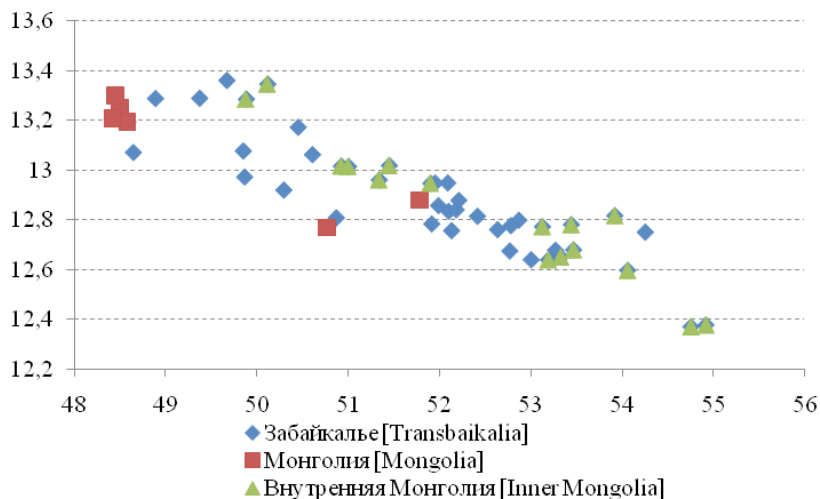


Рис. 4. Ординация растительных сообществ с участием *Scutellaria baicalensis*.

На оси абсцисс – градации увлажнения по оптимальным шкалам

А.Ю. Королюка [14], на оси ординат – градации богатства-засоленности почв

[Fig. 4. Ordination of plant communities with *Scutellaria baicalensis*.

On the Y axis - Indicator value for moisture calculated according to optimum scales

of AYu Korolyuk [14], on the X axis - Indicator value for soil richness and salinity]

Онтогенетическая структура популяций *Scutellaria baicalensis* при различной степени пастбищной дигрессии

[Ontogenetic structure of *Scutellaria baicalensis* populations under different types of grazing]

Регион [Region]	Пастбищ- ная дигрес- сия [Grazing]	Онтогенетическое состояние особей, % [Ontogenetic state of individuals, %]							Плотность популяции, особей/м ² [Population density, individuals per square]
		j	im	v	g ₁	g ₂	g ₃	ss, s	
Забайкалье [Transbaikalia]	Слабая [Slight]	4,1	14,3	36,7	25,5	9,2	4,1	6,1	3,27
	Умеренная [Moderate]	0	4,8	12,1	15,7	28,9	22,9	15,6	1,97
	Сильная [High]	0	0	0	29,2	33,3	4,2	33,3	0,77
Монголия [Mongolia]	Слабая [Slight]	13,3	29,7	42,9	3,9	7,8	1,6	0,8	2,67
	Умеренная [Moderate]	0	0	11,8	26,5	52,9	5,9	2,9	2,72
	Сильная [High]	0	0	0	36,4	54,5	9,1	0	0,44
Внутренняя Монголия [Inner Mongolia]	Слабая [Slight]	1,9	3,8	10,5	31,4	43,8	5,7	2,9	3,5
	Умеренная [Moderate]	0	0	25,6	65,1	9,3	0	0	1,43

Примечание [Note]. Онтогенетические состояния [Ontogenetic states]: j – ювенильное [juvenile]; im – имматурное [immature]; v – виргинильное [virgin]; g₁ – молодое генеративное [young-generative]; g₂ – средневозрастное генеративное [middle generative]; g₃ – старое генеративное [old generative]; ss – субсенильное [subsenile]; s – сенильное [senile].

Описанные закономерности частично обсуждены нами ранее [25]. Корреляционный анализ данных всех изученных популяций показал незначительную связь индекса возрастности растений со степенью пастбищной дигрессии ($r = 0,56$), что в некоторой степени отражает тренд снижения численности молодых особей при высокой степени выпаса. По-видимому, для выявления более детальных взаимосвязей необходимы дополнительные исследования с тщательно отобранной выборкой местообитаний с учетом типов фитоценозов или флористического состава сообществ.

Изучаемый вид встречается на склонах различной экспозиции и крутизны, при этом предпочитает петрофитные местообитания в срединной части склона и на верхушках сопок. Эти данные подтверждаются экотопологическими моделями (рис. 5). Выявлено, что на пологих склонах разных экспозиций у сообществ с участием *S. baicalensis* более высокое проективное покрытие (рис. 5, А) и, соответственно, видовое богатство (рис 5, С). При этом местообитания вида на более крутых склонах южных и юго-западных экспозиций с низким проективным покрытием и видовой насыщенностью характеризуются большей каменистостью (рис. 5, В). Для этих местообитаний также характерно высокое обилие изучаемого вида.

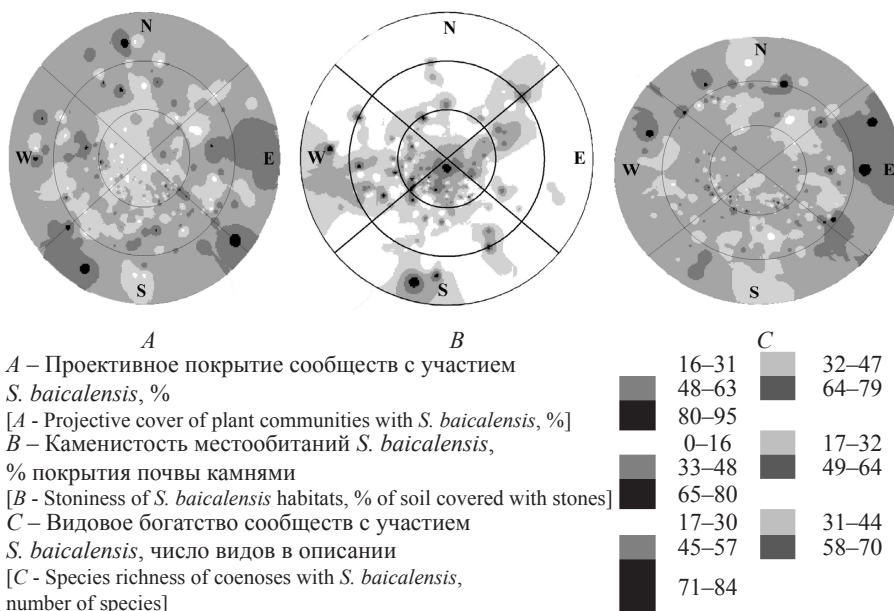


Рис. 5. Модели распределения локальных факторов в местообитаниях *Scutellaria baicalensis* на топо-ординационных схемах

[Fig. 5. Models of local factors distribution in *Scutellaria baicalensis* habitats on topo-ordinated schemes]

Корреляционный анализ выявил слабые связи между локальными условиями среды и онтогенетической структурой популяций изучаемого вида, выраженной в различных демографических индексах. Отмечено, что проективное покрытие сообществ с участием *S. baicalensis* показывает положительные связи с градами увлажнения ($r = 0,55$) и отрицательные с богатством и засолением почв ($r = -0,48$), что подтверждается результатами ординации (см. рис. 3 и 4). Наиболее значимые связи выявлены для проективного покрытия *S. baicalensis* и индекса эффективности ($r = 0,63$). Биоклиматические переменные BIOCLIM также имеют слабые корреляционные связи с онтогенетической структурой популяции и оказывают большее влияние на характер распространения вида (см. рис. 1 и 2). При этом они связаны с такими параметрами сообществ, как средний статус увлажнения по экологическим шкалам и видовая насыщенность (см. рис. 3). Сходные взаимозависимости для растительных сообществ и отдельных видов также отмечены в ряде публикаций [26, 27]. Согласно современным исследованиям переменные ENVIREM гораздо лучше могут выявлять закономерности распространения и особенности экологии видов, так как они в большей степени связаны с экофизиологическими параметрами [10]. Так, нами выявлены сильные положительные корреляционные связи между индексом аридности Торнвайта и индексом возрастности ($r = 0,74$) и индексом старения ($r = 0,86$) и отрицательные с индексом замещения ($r = -0,85$). Эти же демографические индексы также тесно связаны с потенциальной эвапотранспирацией в самой влажной четверти года ($r = 0,72$ и $r = 0,75$ соответственно). Отрицательные корреляционные связи вышеуказанной переменной также характерны для индекса замещения ($r = -0,72$). Полученные результаты показывают, что для изучаемого вида при увеличении засушливости климата в значительной степени снижается семенное возобновление, что отражается в низкой численности особей прегенеративного периода. Сходные закономерности наблюдаются и при высокой пастбищной нагрузке. В свете выявленных климатологами тенденций аридизации климата на территории юга Сибири необходим мониторинг состояния популяций *S. baicalensis* на северо-восточной границе ареала вида в Забайкалье. Необходимо также отметить, что дальнейшие исследования в этом направлении (на примере разных видов и сообществ) могут быть перспективными в рамках концепции пула видов [28, 29].

Заключение

Проведенные исследования показали, что биоклиматические факторы в большей степени оказывают влияние на распространение *S. baicalensis* и характеристики фитоценозов с участием вида. Показатели локальных факторов также позволяют проводить оценку растительных сообществ, обилия и экологических предпочтений изучаемого вида, но слабо связаны с онтоге-

нетическими параметрами популяций. На уровне растительных сообществ распределение и характер влияния региональных и локальных факторов являются в значительной степени сходными. Использование переменных и индексов ENVIREM показало значимые взаимосвязи на популяционном уровне (в частности, демографические параметры), что позволило оценить перспективы развития периферийных популяций вида при интенсификации процессов аридизации. Отмечено, что некоторые локальные факторы, такие как выпас, могут также оказывать большое влияние на онтогенетическую структуру популяций. Распределение и обилие вида тесно связано со структурой ландшафта, поэтому актуальной является дальнейшая подробная оценка экотопологических характеристик местообитаний *S. baicalensis*.

Литература

1. Gaston K. The Structure and Dynamics of Geographic Ranges. Oxford : Oxford University Press, 2003. 266 p.
2. Guo Q.F., Taper M., Schoenberger M., Brandle J. Spatial-temporal population dynamics across species range: from centre to margin // *Oikos*. 2005. Vol. 108. PP. 47–57.
3. Gerst K.L., Angert A.L., Venable D.L. The effect of geographic range position on demographic variability in annual plants // *Journal of Ecology*. 2011. Vol. 99. PP. 591–599.
4. Гольдберг Е.Д., Дыгай А.М., Литвиненко В.И., Попова Т.П., Суслов Н.И. Шлемник байкальский. Фитохимия и фармакологические свойства. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1994. 222 с.
5. Gao Z., Huang K., Yang X., Xu H. Free radical scavenging and antioxidant activities of flavonoids extracted from the radix of *Scutellaria baicalensis* Georgi // *Biochimica et Biophysica Acta – General Subjects*. 1999. Vol. 1472, is. 3. PP. 643–650.
6. Min L. New therapeutic aspects of flavones: the anticancer properties of *Scutellaria* and its main active constituents wogonin, baicalein and baicalin // *Cancer treatment reviews*. 2009. Vol. 35, is. 1. PP. 57–68.
7. Bai Ch., Wen M., Zhang L., Li G. Genetic diversity and sampling strategy of *Scutellaria baicalensis* germplasm resources based on ISSR // *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2013. Vol. 60. PP. 1673–1685.
8. Yuan Q., Zhang Zh., Hu J., Guo L., Shao A., Huang L. Impacts of recent cultivation on genetic diversity pattern of a medicinal plant, *Scutellaria baicalensis* (Lamiaceae) // *BMC Genetics*. 2010. Vol. 11 (29).
9. Su S., He Ch., Li L., Chen J., Zhou T. Genetic characterization and phytochemical analysis of wild and cultivated populations of *Scutellaria baicalensis* // *Chemistry & Biodiversity*. 2008. Vol. 5. PP. 1353–1363.
10. Title P.O., Bemmels J.B. ENVIREM: an expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling // *Ecography*. 2017. doi: [10.1111/ecog.02880](https://doi.org/10.1111/ecog.02880)
11. Korolyuk A.Yu., Zverev A.A. Database of Siberian Vegetation (DSV) // *Biodiversity & Ecology*. 2012. Vol. 4. PP. 312.
12. Зверев А.А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова. Томск : ТМЛ Пресс, 2007. 304 с.
13. Hammer Ø., Harpe D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // *Palaeontologia Electronica*. 2001. Vol. 4 (1). PP. 1–9.

14. Королук А.Ю. Экологические оптимумы растений юга Сибири // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. Барнаул ; Кемерово, 2006. Вып. 12. С. 3–38.
15. Королук А.Ю. Модель сопки – метод анализа структуры растительного покрова // Растительность России. 2008. № 13. С. 117–122.
16. Санданов Д.В., Дулепова Н.А., Гармаева Л.Л. *Fornicium uniflorum (Asteraceae)* в Забайкалье: распространение, экология, структура сообществ и популяций // Растительный мир Азиатской России. 2016. № 2 (22). С. 25–31.
17. Жукова Л.А. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола : Ланар, 1995. 224 с.
18. Глотов Н.В. Об оценке параметров возрастной структуры популяций растений // Жизнь популяций в гетерогенной среде. Йошкар-Ола : МарГУ, 1998. Ч. 1. С. 146–149.
19. Животовский Л.А. Онтогенетическое состояние, эффективная плотность и классификация популяций // Экология. 2001. № 1. С. 3–7.
20. Одум Ю. Экология. М. : Мир, 1986. Т. 2. 376 с.
21. Санданов Д.В. Оценка состояния ценопопуляций восточноазиатских видов растений в различных частях ареала // Растительный мир Азиатской России. 2010. № 2 (6). С. 80–87.
22. Санданов Д.В. Оценка фитоценоотической приуроченности восточноазиатских степных растений в связи с демографическими характеристиками популяций // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии : сб. науч. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф. Барнаул : Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2015. С. 219–224.
23. Красная книга Амурской области : редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов / ред. О.Н. Кожемяко и др. Благовещенск : Изд-во БГПУ, 2009. 446 с.
24. Красная книга Еврейской автономной области. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов / ДВО РАН, Ин-т комплекс. анализа регион. проблем ; отв. ред. Т.А. Рубцова ; науч. ред. С.Д. Шлотгауэр. Новосибирск : АРГА, 2006. 248 с.
25. Бухашеева Т.Г., Санданов Д.В., Асеева Т.А., Чирикова Н.К., Шишмарев В.М. Возрастная структура ценопопуляций и сырьевая фитомасса *Scutellaria baicalensis* Georgi (Lamiaceae) // Растительные ресурсы. 2007. Т. 43, вып. 4. С. 23–31.
26. Raatikainen K.M., Heikkinen R.K., Pykälä J. Impacts of local and regional factors on vegetation of boreal semi-natural grasslands // Plant Ecology. 2007. Vol. 189. PP. 155–173.
27. Gaujour E., Amiaud B., Mignolet C., Plantureux S. Factors and processes affecting plant biodiversity in permanent grasslands: a review // Agronomy for Sustainable Development. 2012. Vol. 32, is. 1. PP. 133–160.
28. Houseman G.R., Gross K.L. Linking grassland plant diversity to species pools, sorting and plant traits // Journal of Ecology. 2011. Vol. 99. PP. 464–472.
29. Li L., Liu Y., Wang X., Fang J., Wang Q., Zhang B., Xiao P., Mohammad A., Terwei A. Different effect of regional species pool on plant diversity between forest and grassland biomes in arid Northwest China // PLoS ONE. 2015. Vol. 10 (7): e0131982. doi: [10.1371/journal.pone.0131982](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131982)

Поступила в редакцию 03.03.2017; повторно 21.04.2017 г.;
принята 26.04.2017; опубликована 15.06.2017

Авторский коллектив:

Санданов Денис Викторович – канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории флористики и геоботаники Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6).

E-mail: sdenis1178@mail.ru

Найданов Булат Борисович – канд. биол. наук, ведущий инженер лаборатории флористики и геоботаники Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6).

E-mail: orongoy930@yandex.ru

Шишмарев Вячеслав Михайлович – канд. биол. наук, м.н.с. лаборатории медико-биологических исследований Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6).

E-mail: shishmarevslava@rambler.ru

Sandanov DV, Naidanov BB, Shishmarev VM. Influence of regional and local environmental factors on the distribution and population structure of *Scutellaria baicalensis* Georgi. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2017;38:89-103. doi: 10.17223/19988591/38/5 In Russian, English summary

Denis V. Sandanov, Bulat B. Naidanov, Vyacheslav M. Shishmarev

Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russian Federation

Influence of regional and local environmental factors on the distribution and population structure of *Scutellaria baicalensis* Georgi

Dynamics and condition of species populations in different parts of their distribution is a very important part of studies of species biology. This kind of research is useful for relict species, which have isolated populations confined to refugia at the edges of their distribution. *Scutellaria baicalensis* Georgi is a relict species, growing in the steppes of East Asia. This plant is widely used in folk and traditional medicine. The aim of our study was to analyze different environmental factors on regional and local scales with assessment of their influence on distribution and population structure of *S. baicalensis* in different regions of East Asia.

We collected the material throughout a long latitudinal and longitudinal gradient within East Asia (Latitude - between 29-65 degrees, Longitude - between 100-130 degrees) (See Fig. 1). 19 bioclimatic variables (www.worldclim.org) and 9 ENVIREM variables (<http://envirem.github.io/#downloads>) were involved in the analysis. We estimated ecological features of the species on the basis of 488 relevés. CCA-ordination was carried out in PAST 3.06. Eco-topological confinement of species was evaluated on planar models. We studied 48 populations in different parts of species distribution. Ontogenetic structure was considered using common indices applied in plant demography: index of regeneration, index of substitution, index of senescence, index of age-ness, and index of efficiency. Relationships between environmental factors and species demography were analyzed with Pearson linear correlations.

The northern edge of *S. baicalensis* distribution was limited by -4° isotherm, and the western part was shaped by 200 mm isohyet (See Fig. 2). CCA-ordination of 153 relevés from Inner Mongolia showed the importance of moisture which is determined by precipitations(bio-12) and soil moisture (IVM) (See Fig. 3). This trend was also connected with species richness (Div). In general, the first axis is more important (eigenvalue=40.29%). The second axis is less important (eigenvalue=22.57%) and mostly characterized by the elevation. On the upper part of ordination scheme, there are relevés within 1100 to 1500 m, on the bottom - within 700 to 1100 m. The ordination of all relevés with the studied populations revealed low soil moisture parameters in steppe communities of Mongolia (See Fig. 4). Population demography also depends on the grazing level (See Table). The studied species prefers petrophytic habitats in the middle part and on top of hills (See Fig. 5). The analysis revealed low correlation between local factors and ontogenetic structure of populations. We obtained similar data for bioclimatic variables and observed high positive correlation between Thornthwaite aridity index and age-ness index ($r=0.74$) and senescence index ($r=0.86$), and negative

correlation for substitution index ($r=-0.85$). All these demographic indices also showed good correlation with mean monthly PET of the wettest quarter ($r=0.72$; $r=0.75$; $r=-0.72$, respectively). The obtained results demonstrated that after an increase in climate aridity seed reproduction of species decreased, which resulted in a low quantity of young individuals. In view of recently revealed tendencies towards an increase in aridity in the studied region, it is necessary to monitor *S. baicalensis* populations at the north-western edge of species distribution in Transbaikalia.

The article contains 5 Figures, 1 Table, 29 References.

Key words: environmental factors; bioclimatic variables; local conditions; plant species indicator values; population and community structure.

Funding: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project 16-54-53057) and partially by budget Project No VI.52.1.7

Acknowledgments: Authors express their sincere gratitude to Dr.Sci. (Biol.) AYu. Korolyuk (Central Siberian Botanical Garden of SB RAS, Russia) for presenting necessary relevés and a part of data with bioclimatic variables, and PhD S. Rosbakh (University of Regensburg, Germany) for good discussion of general ideas of the paper and help with preparing and analysis of the data.

References

1. Gaston K. The Structure and Dynamics of Geographic Ranges. Oxford: University Press; 2003. 266 p.
2. Guo QF, Taper M, Schoenberger M, Brandle J. Spatial-temporal population dynamics across species range: from centre to margin. *Oikos*. 2005;108:47-57.
3. Gerst KL, Angert AL, Venable DL. The effect of geographic range position on demographic variability in annual plants. *Journal of Ecology*. 2011;99:591-599.
4. Gol'dberg ED, Dygay AM, Litvinenko VI, Popova TP, Suslov NI. Shlemnik baykal'skiy. Fitokhimiya i farmakologicheskie svoystva [Phytochemistry and pharmacological properties]. Tomsk: Tomsk State University Publ.; 1994. 222 p. In Russian
5. Gao Z, Huang K, Yang X, Xu H. Free radical scavenging and antioxidant activities of flavonoids extracted from the radix of *Scutellaria baicalensis* Georgi. *Biochimica et Biophysica Acta – General Subjects*. 1999;1472(3):643-650.
6. Min L. New therapeutic aspects of flavones: The anticancer properties of *Scutellaria* and its main active constituents wogonin, baicalein and baicalin. *Cancer treatment reviews*. 2009;35(1):57-68.
7. Bai Ch, Wen M, Zhang L, Li G. Genetic diversity and sampling strategy of *Scutellaria baicalensis* germplasm resources based on ISSR. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2013;60:1673-1685.
8. Yuan Q, Zhang Zh, Hu J, Guo L, Shao A, Huang L. Impacts of recent cultivation on genetic diversity pattern of a medicinal plant, *Scutellaria baicalensis* (Lamiaceae). *BMC Genetics*. 2010;11:29.
9. Su S, He Ch, Li L, Chen J, Zhou T. Genetic characterization and phytochemical analysis of wild and cultivated populations of *Scutellaria baicalensis*. *Chemistry & Biodiversity*. 2008;5:1353-1363.
10. Title PO, Bemmels JB. ENVIREM: An expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling. *Ecography*. 2017. doi: [10.1111/ecog.02880](https://doi.org/10.1111/ecog.02880)
11. Korolyuk AYu, Zverev AA. Database of Siberian Vegetation (DSV). *Biodiversity & Ecology*. 2012;4:312.
12. Zverev AA. Informatsionnye tekhnologii v issledovaniyakh rastitel'nogo pokrova: Uchebnoe posobie [Information technologies in studies of vegetation: Textbook]. Tomsk: TML-Press Publ.; 2007. 304 p. In Russian

13. Hammer Ø, Harpe DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):1-9.
14. Korolyuk AYU. Ekologicheskie optimumy rasteniy yuga Sibiri [Ecological optimum of plants in the South of Siberia]. In: *Botanicheskie issledovaniya Sibiri i Kazakhstana* [Botanical research in Siberia and Kazakhstan]. Vol. 12. Kupriyanov AN, editor. Barnaul: Gerbariy im. VV Sapozhnikova Altayskogo gosudarstvennogo universiteta Publ.; 2006. pp. 3-28. In Russian
15. Korolyuk AYU. Hill model – method of vegetation structure analysis. *Rastitel'nost' Rossii – Vegetation of Russia*. 2008;13:117-122. In Russian
16. Sandanov DV, Dulepova NA, Garmaeva LL. *Fornicium uniflorum* (Asteraceae) in Transbaikalia: distribution, ecology, community and population structure. *Rastitel'nyy Mir Aziatskoj Rossii*. 2016;2(22):25-31. In Russian, English summary
17. Zhukova LA. Populyatsionnaya zhizn' lugovykh rasteniy [Population life of meadow plants]. Yoshkar-Ola: RIIK "Lanar" Publ.; 1995. 224 p. In Russian
18. Glotov NV. Ob otsenke parametrov vozrastnoy struktury populyatsiy rasteniy [On the estimation of age structure parameters of plant populations]. In: *Zhizn' populyatsiy v geterogennoy srede*. Ch. 1. [Life of populations in a heterogeneous environment. Pt. 1]. Yoshkar-Ola: Mariy El State University Publ.; 1998. pp. 146-149. In Russian
19. Zhivotovsky LA. Ontogenetic states, effective density, and classification of plant populations. *Russian Journal of Ecology*. 2001;32:1-5.
20. Odum EP. Ekologiya [Ecology]. Vol. 2. Translated from English Vilenkin Ya; Sokolov VE, editor. Moscow: Mir Publ.; 1986. 376 p. In Russian
21. Sandanov DV. Assessment of East-Asian plants population's traits in different parts of their area. *Rastitel'nyy Mir Aziatskoj Rossii*. 2010;2(6):80-87. In Russian, English summary
22. Sandanov DV. Otsenka fitotsenoticheskoy priurochennosti vostochnoaziatskikh stepnykh rasteniy v svyazi s demograficheskimi kharakteristikami populyatsiy [The assessment of phytocoenotic confinement of East-Asian steppe plants in connection with population demography]. In: *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii*. Sbornik nauchnykh statey po materialam XIV mezhd. nauch.-prakt. konf. [Problems of Botany of South Siberia and Mongolia. Proc. of the 14th Int. Sci. & Pract. Conf. (Barnaul, Russia, 22-29 May, 2015)]. Shmakov AI and Kopytina TM, editors. Barnaul: Altai State University Publ.; 2015. pp. 219-224. In Russian
23. *Krasnaya kniga Amurskoy oblasti: Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoeniya vidy zhivotnykh, rasteniy i gribov* [The Red Data Book of Amur region: Rare and Endangered Species of Animals, Plants and Fungi]. Kozhemyako ON, editor. Blagoveshchensk: BGPU Publ.; 2009. 446 p. In Russian
24. *Krasnaya kniga Evreyskoy avtonomnoy oblasti. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoeniya vidy rasteniy i gribov* [The Red Data Book of the Jewish Autonomous Region. Rare and Endangered Species of Plants and Fungi]. Rubtsova TA and Shlotgauer SD, editors. Novosibirsk: ARG Publ.; 2006. 248 p. In Russian
25. Bukhasheeva TG, Sandanov DV, Aseeva TA, Chirikova NK, Shishmarev VM. Coenopopulations age structure and raw material phytomass of *Scutellaria baicalensis* (Lamiaceae) in Eastern Zabaikalye. *Rastitel'nye resursy*. 2007;43(4):23-31. In Russian
26. Raatikainen KM, Heikkinen RK, Pykälä J. Impacts of local and regional factors on vegetation of boreal semi-natural grasslands. *Plant Ecology*. 2007;189:155-173.
27. Gaujour E, Amiaud B, Mignolet C, Plantureux S. Factors and processes affecting plant biodiversity in permanent grasslands. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2012;32(1):133-160.
28. Houseman GR, Gross KL. Linking grassland plant diversity to species pools, sorting and plant traits. *Journal of Ecology*. 2011;99:464-472.

29. Li L, Liu Y, Wang X, Fang J, Wang Q, Zhang B, Xiao P, Mohammat A, Terwei A. Different effect of regional species pool on plant diversity between forest and grassland biomes in arid Northwest China. *PLoS ONE*. 2015;10(7):e0131982. doi: [10.1371/journal.pone.0131982](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131982)

Received 03 March 2017; Revised 21 April 2017;

Accepted 26 April 2017; Published 15 June 2017

Author info:

Sandanov Denis V, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Floristics and Geobotany, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6 Sakhyanovoi Str., Ulan-Ude 670047, Russian Federation.

E-mail: sdenis1178@mail.ru

Naidanov Bulat B, Cand. Sci. (Biol.), Leading Engineer, Laboratory of Floristics and Geobotany, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6 Sakhyanovoi Str., Ulan-Ude 670047, Russian Federation.

E-mail: orongoy930@yandex.ru

Shishmarev Vyacheslav M, Cand. Sci. (Biol.), Junior Reasercher, Laboratory of Medical and Biological Studies, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6 Sakhyanovoi Str., Ulan-Ude 670047, Russian Federation.

E-mail: shishmarevslava@rambler.ru