

БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАВЯНИСТЫХ МЕЗОФИТОВ

О. А. Бельих

Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация

Информация о статье

Дата поступления
5 марта 2018 г.

Дата принятия к печати
14 августа 2018 г.

Дата онлайн-размещения
3 сентября 2018 г.

Ключевые слова

Биоиндикация; ценопопуляции;
виталитет; габитус;
экологический стресс;
моделирование

Аннотация

Представлен анализ данных биометрического изучения экологически чувствительных видов семейства *Ranunculaceae* в связи с исследованием влияния многолетней техногенной эмиссии г. Байкальска на факторы естественной резистентности растений. Доказано, что для оценки загрязнения лесных экосистем в Южном Прибайкалье в качестве биоиндикатора возможно использовать состояние ценопопуляций травянистого мезофита *Thalictrum minus* L. В зависимости от ухудшения экологических показателей конкретной местности регистрируется изменение габитуса особей на 15–30 % и снижение продолжительности отдельных онтогенетических состояний до 3–15 лет. Особи среднего и низкого виталитета формируют регрессирующие популяции. Их динамика ведет к изменению виталитетного спектра и сокращению индикаторных видов в местах с высокой аэротехногенной нагрузкой. Статистический анализ факторов, влияющих на формирование габитуса растений, показал, что наиболее значимы такие, как изреживание крон, проективное покрытие травостоя и процент органического вещества в почве. Построение нелинейных регрессионных моделей влияния экологических факторов на развитие габитуса световых мезофитов рода *Thalictrum* дает возможность достоверно прогнозировать поведение их ценотических параметров в условиях экологического стресса.

BIOINDICATION OF THE FOREST ECOSYSTEMS STATE OF THE SOUTH BAIKAL REGION WITH THE USE OF HERBACEOUS MESOPHYTES CHARACTERISTICS

Olga A. Belykh

Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation

Article info

Received
March 5, 2018

Accepted
August 14, 2018

Available online
September 3, 2018

Keywords

Bioindication; census population;
vitality; habitus; environmental
stress; modeling

Abstract

Analysis of biometric studies data of environmentally-sensitive species of *Ranunculaceae* family in relation to the studies of the influence of long-term technogenic emission in the city of Baikalsk on the natural resistibility factors of plants is given. It has been proved that it is possible to use the state of census populations of herbaceous mesophyte *Thalictrum minus* L. as a bioindicator to estimate pollution of forest ecosystems of the South Baikal Region. A change of 15–30 % of species habitus and reduction in the duration of certain ontogenetic states up to 3–15 years is registered according to degradation of environmental performance indices of a specific area. Species of average and low vitality form decreasing populations. Their dynamics leads to the change of vitality range and reduction in indicator species in the areas of high aerotechnogenic environmental stress. Statistical analysis of

factors influencing formation of plants habitus has shown that the most significant ones are crown thinning, projective cover of grass stand and percentage of organic substance in the soil. Non-linear regression modeling of environmental factors influence on habitus development of *Thalictrum* mesophytes makes it possible to prognosticate the behavior of their cenosis parameters in conditions of environmental stress accurately.

Мониторинг состояния лесных экосистем вблизи промышленных территорий Южного Прибайкалья, обладающих мощным экономическим потенциалом, вызывает большую озабоченность. В отечественной и зарубежной литературе представлены обширные сведения об антропогенной трансформации растительного покрова [1–3]. Контроль качества окружающей среды с использованием биологических объектов уже давно оформился как актуальное научно-прикладное направление. Многие авторы отмечают, что установить четкую зависимость между загрязнением атмосферы и повреждаемостью лесных насаждений сложно, поэтому важно применять методики для видов, чувствительных к техногенному загрязнению. Широко доступными являются методы биоиндикации, разработанные для деревьев [4–6]. Исследованию травянистых растений уделяется меньше внимания. Учитывая чувствительность растений ко многим промышленным поллютантам, можно обоснованно связывать развитие морфометрических показателей особей с уровнем и характером загрязнения воздуха, воды и почвы и использовать определенные виды в качестве биоиндикаторов состояния окружающей среды [7; 8]. При организации микромасштабного регионального исследования и прогнозирования экологических свойств биоты возникает необходимость более подробного учета взаимодействия растений с внешней средой.

Цель исследования заключается в изучении зависимости состояния ценопопуляций широко распространенных в регионе травянистых многолетников рода *Thalictrum* L. (василисник) в ряду эколого-фитоценотического спектра местообитаний, в разработке многофакторных механизмов оценки влияния экологических условий на модельные виды с целью их использования для экологического мониторинга. Поставленная цель обусловила необходимость решения следующих основных задач:

– исследование влияния фитоценотических условий на виталитетное состояние ценопопуляций травянистых многолетников рода *Thalictrum* в промышленно развитых регионах;

– оценка влияния факторов окружающей среды на морфометрические показатели модельных видов, формирующие состояние ценопопуляций, с помощью моделирования.

Материалами исследования послужили авторские геоботанические описания за период 2004–2016 гг., выполненные по методике, разработанной Т. А. Работновым и его школой [9].

На формирование прибрежных экологических ниш значительное влияние оказывает озеро Байкал. Для участков побережья, где проявляется интенсивное влияние Байкала, характерна разреженность древостоя, а на некоторых участках — полная редукция древесного яруса, низкостеленность, высокая мозаичность растительного покрова и микроклимата. Исследованиями многих ученых установлено, что климатическое воздействие Байкала сказывается на особенностях протекания физиологических процессов у растений, которые отражаются в морфологическом облике ценопопуляций и сообществ. Наименьшая фитомасса формируется в ложно-подгольцовом комплексе, по мере удаления и с подъемом в горы она увеличивается до высоты 250 м над озером, а затем вновь постепенно снижается [10, с. 158]. Для проведения детальных исследований в качестве модельных объектов были выбраны чувствительные к атмосферному загрязнению и широко распространенные в регионе представители семейства *Ranunculaceae* рода *Thalictrum* L. Установлено, что в травостое василисники встречаются с обилием *sp*, реже *cop1*, проективное покрытие — до 15 %. При стационарных исследованиях в экспериментальных зонах постоянных пробных площадей ежегодно выкапывали по 10–15 особей исследуемых видов, у которых в камеральных условиях определяли абсолютный возраст, онтогенетическое состояние и массу надземных и подземных побегов, измеряли и описывали строение вегетативных и генеративных органов по общепринятым в ценопопуляционных исследованиях методикам. Для построения виталитетных спектров применяли методику Г. Г. Жилыева [11]. Мы дополнили эту

методику использованием вариационных рядов особей одного биологического возраста в разных экологических условиях обитания [12]. Массивы многолетних данных анализировались одно- и многомерными статистическими методами [13] с помощью пакета компьютерных программ Statistica 8. Для построения моделей использован регрессионный анализ.

Биоиндикационное значение сосудистых растений следует рассматривать на ценопопуляционном уровне, так как именно ценопопуляция является элементарной единицей растительного покрова. Разделение ценопопуляций на группы особей разного жизненного состояния — явление, распространенное у разных систематических групп, разных биоморф, в разных сообществах. Оно находится в прямой зависимости не только от генетического материала, но и от условий обитания. Известно, что растения сходного биологического возраста различаются по мощности развития, и поэтому одна возрастная группа ценопопуляции часто содержит особи разных морфологических характеристик. Распределение особей *Thalictrum minus* L. по уровням жизненности было проведено нами по комплексу количественных показателей с использованием статистической обработки базы данных, что позволило составить схемы онтогенеза особей разных уровней жизненности в зависимости от эколого-фитоценологических условий обитания [14, с. 32]. Как отмечено в литературе, возраст и жизненное состояние растений меняются в природных условиях в зависимости от экологической среды. На увеличение продолжительности жизни особей с подъемом в горы указывают Г. Г. Жиляев, А. Н. Данилова и др. [15]. В более благоприятных условиях увлажнения и освещения растения быстро развиваются, их предельный возраст сокращается, а в менее благоприятных они развиваются медленнее, что сказывается на продолжительности отдельных возрастных состояний. Изучение темпов развития особей василисника малого в ценопопуляциях различной эколого-фитоценологической приуроченности позволило выяснить, что в зависимости от условий обитания длительность пребывания особей в различных возрастных состояниях разная. Данные о продолжительности онтогенеза и возрастных состояний василисника малого представлены в табл. 1.

Таблица 1
Влияние условий обитания ценопопуляций на длительность возрастных состояний (*Thalictrum minus*)

Ценопопуляции	Продолжительность возрастных состояний, лет*							Большой жизненный цикл особи
	J	Im	V	G ₁	G ₂	G ₃	S	
Смешанных лесов / нормальные темпы развития	1–1,5	1–2	4–5	7–8	8–10	4–6	3–4	29–38
Луговые / ускоренные темпы развития	1	1	3–4	2–6	10–12	4–6	2	24–33
Темнохвойных лесов / замедленные темпы развития	1,5	2	8–12	6–9	2–3	4–5	3–5	28–38

*J, Im, V, G₁, G₂, G₃, S — возрастные состояния.

Анализ полученных сведений указывает, что разнообразие природных условий района исследования способствует проявлению пластичности поведения вида, которая выражается в изменении виталитетного спектра и скорости темпов развития особей в различных местообитаниях. Это позволяет рекомендовать вид как возможный биоиндикатор для оценки состояния лесных экосистем. Как нами отмечено, «наиболее благоприятные фитоценологические условия для нормальных темпов развития складываются в ценопопуляциях, произрастающих в редкостойных смешанных лесах. Ускоренные темпы развития растений в луговых ценопопуляциях обусловлены интенсификацией ростовых процессов и усилением ветвления побегов. Замедленное развитие и низкий уровень жизненности растений, приуроченных к темнохвойным фитоценозам, являются следствием затенения вида под пологом леса» [14, с. 41].

В природе особи всегда отличаются разнообразием, построенным на сочетании различных генотипов особей, имеющих разное фенотипическое выражение. Традиционно в целях изучения изменчивости продуктивных признаков используется ряд макроморфологических признаков, которые успешно регистрируются в полевых условиях. Это высота растения, длина и ширина листовых пластинок, число боковых побегов на особь, число цветков, длина доли листа. Таким образом, «габитус растения представляет собой систему коррелированных органов, и

при приближении к пределу экологического оптимума вида согласованность в формировании морфотипа имеет большую ценность, чем доминирование одного признака. Сравнение средних статистических данных дает возможность выявить амплитуду изменчивости каждого признака. Корреляционный анализ показывает характер сбалансированности между процессами формообразования у разных видов» [15]. Биостатистическое исследование ценопопуляций, занимающих разные эколого-фитоценозные позиции в условиях лесов Южного Прибайкалья (*Thalictrum baicalense*, *Thalictrum contortum*, *Thalictrum foetidum*, *Thalictrum minus*), позволяет говорить о том, что у них выявлена различная амплитуда изменчивости морфологических признаков (табл. 2). По возрастанию вариабельности вегетативных органов виды расположилась в следующем порядке по числу значимых корреляционных связей: *Thalictrum baicalense* → *Thalictrum foetidum* → *Thalictrum contortum* → *Thalictrum minus*.

Эти виды различаются эколого-географическим происхождением и амплитудой их экологической пластичности. Установление наличия корреляционных связей между исследуемыми признаками дает возможность вскрыть закономерности экологического отклика морфологических признаков на условия местообитания. Стабилизация нормы происходит через усложнение системы внутренних связей, обеспечивающих сбалансированное развитие фенотипа. На уровне морфологических систем это реализуется в усложнении корреляционных связей между отдельными органобразовательными процессами. В результате анализа корреляционных зависимостей внутри исследованных видовых популяций можно выделить вид *Thalictrum minus*, обладающий сбалансированными адаптационными механизмами, позволяющими при измерении всего трех параметров осуществлять оценку влияния экологических условий на жизненное состояние особей.

Таблица 2

Статистические характеристики и значение корреляции морфологических признаков представителей рода *Thalictrum*

Вид	Медиана	Стандартное отклонение	Высота побега, см	Число побегов	Число цветков	Длина соцветия, см	Ширина соцветия, см	Длина листа, см	Ширина листа, см	Длина черешка, мм	Длина междоузлия, см	Биомасса, г/побег
<i>Thalictrum baicalense</i>												
Ширина соцветия	17,86	2,51	-0,03	-0,15	0,47	0,05	1					
Длина листа	9,40	0,81	0,09	0,06	-0,03	0,02	-0,05	1				
Ширина листа	13,36	1,95	-0,03	0,06	0,58	-0,02	0,39	0,01	1			
Длина черешка	34,16	7,82	0,14	-0,18	0,01	0,28	0,18	0,43	-0,04	1		
Биомасса	72,86	10,34	-0,07	-0,20	-0,17	0,06	0,14	-0,03	0,33	0,21	0,12	1
<i>Thalictrum contortum</i>												
Ширина соцветия	16,73	18,19	-0,09	0,03	0,47	0,27	1					
Длина листа	13,72	3,49	0,35	0,02	0,15	0,02	0,09	1				
Ширина листа	14,82	3,32	-0,18	-0,19	0,14	0,17	0,54	0,34	1			
<i>Thalictrum foetidum</i>												
Ширина соцветия	11,00	1,77	0,12	0,16	0,32	0,41	1					
Длина листа	7,76	1,05	-0,02	-0,11	-0,26	-0,42	-0,21	1				
Ширина листа	8,34	1,95	0,05	0,02	0,53	-0,32	0,16	0,02	1			
Длина междоузлия	5,96	0,62	0,13	0,01	-0,11	-0,17	-0,03	-0,17	-0,02	0,24	1	
Биомасса	22,13	4,67	0,41	-0,10	-0,01	0,23	0,17	-0,04	-0,01	-0,21	-0,07	1
<i>Thalictrum minus</i>												
Ширина соцветия	31,23	3,03	0,34	-0,04	0,62	0,04	1					
Длина листа	27,16	1,89	0,59	0,15	-0,32	0,20	-0,19	1				
Ширина листа	37,30	3,58	0,47	0,22	-0,09	0,06	0,04	0,08	1			

Экологический прогноз будущего изменения состояния экосистемы в условиях антропогенного пресса строится с использованием математических моделей, описывающих влияние экологических факторов на формирование показателей системы или биоиндикаторов. Как показано выше, на параметры развития особей значительное влияние оказывают экологические факторы в зависимости от характеристик местообитания, фитоценотического окружения и степени антропогенного изменения характеристик территории. Поэтому к исследованию данного процесса важно подходить с позиций системного анализа.

Система, характеризующая развитие растений, является сложной, так как содержит множество компонентов, находящихся в различных генотипических связях. Морфологические характеристики растений зависят от совокупности факторов, которые надо проанализировать с точки зрения их статистической значимости. Качество прогнозирования позволит повысить эффективность мониторинга состояния территории с помощью травянистых многолетников и обеспечить достоверность продукционного прогноза. Выбор факторов при построении модели множественной регрессии обычно происходит на основе качественного теоретико-экологического и статистического анализа тенденций изменения рассматриваемых процессов. В настоящей работе для прогнозирования экологического потенциала биоморф были рассмотрены две регрессионные модели — модель множественной линейной регрессии и нелинейные степенные регрессионные модели.

Основополагающими для построения модели множественной регрессии являются этапы: 1) отбора влияющих факторов; 2) выбора формы уравнения регрессии; 3) проверки адекватности построенной модели [16]. На первом этапе анализа влияния экологических факторов рассматривались следующие факторы местообитаний исследуемых видов: x_1 — высота над уровнем моря (м), x_2 — общее проективное покрытие (% площади), x_3 — сомкнутость крон (% площади), x_4 — процент органического вещества в почве. Влияющие на развитие анализируемых индикационных признаков факторы: y_1 — высота растения (см), y_2 — длина листа (см), y_3 — ширина листа (см), y_4 — средняя длина междоузлий (см), y_5 — длина соцветия (см), y_6 — диаметр стебля (мм). В работе были использованы характеристики модельных ценопопуляций для смешанных лесов,

луговых сообществ и темнохвойных лесов Южного Прибайкалья [4]. На втором этапе осуществлена оценка показателей статистической связи между каждой из исследуемых переменных (y_i) и указанным составом объясняющих переменных (x_i). В качестве таких показателей были выбраны парные коэффициенты корреляции, точечные оценки которых позволили исключить факторы, не оказывающие важного влияния. Таким оказался фактор x_1 — высота над уровнем моря, так как коэффициенты корреляции, подсчитанные по этому фактору, по всем y_i очень малы (0,007 8–0,344). Полученные итоги корреляционного анализа дали основание для построения линейных моделей по методу наименьших квадратов (табл. 3).

Таблица 3
Характеристики линейных моделей зависимости габитуса растений от экологических факторов местообитания

Параметры взаимосвязи (x_i)	Уравнение регрессии	Индекс детерминации (R^2)	Коэффициент аппроксимации
Высота побега	$y_1 = 56,46 - 0,031x_1 + 10,86x_3 + 8,98x_4$	0,72	54,03
Длина листьев	$y_2 = 20,97 - 0,41x_1 + 4,92x_3 + 4,07x_4$	0,92	23,16
Ширина листьев	$y_3 = 49,12 - 1,07x_2 - 3,82x_3 + 8,25x_4$	0,93	-23,14
Длина междоузлий	$y_4 = 15,34 - 0,33x_2 + 3,31x_3 + 3,17x_4$	0,82	41,56
Длина соцветия	$y_5 = -11,12 + 0,29x_2 - 13,68x_3 + 3,59x_4$	0,82	-13,34
Диаметр стебля	$y_6 = 0,63 - 0,01x_2 + 0,03x_3 + 0,16x_4$	0,75	-51,79

Коэффициенты оцененных регрессий характеризуют среднее абсолютное изменение y . Так, если содержание почвенной органики (x_4) уменьшается на 1 %, то ширина листа (y_3) становится меньше на 8,25 % от своего среднего значения. Таким образом, данная модель позволяет прогнозировать поведение мезофитов в условиях изменения освещенности при изреживании древостоя под влиянием аэротехногенных поллютантов. В данной модели коэффициент аппроксима-

ции данных для генетически обусловленных явлений достаточный. Индекс детерминации для всех параметров приближен к единице, что свидетельствует об эффективной подстановке данных для всех групп василисников и применимости данных моделей для прогнозирования изменения габитуса растений в зависимости от влияния поллютантов на густоту травостоя, сомкнутость крон, изменение элементного состава в почве.

В случае, когда количество наблюдений и соответствующий показатель статистической связи незначительно отличаются от нуля, принято считать, что между анализируемыми признаками нет линейной функциональной связи. Однако такая связь может существовать и быть более сложной, нелинейной. Для районов Южной Сибири характерен гористый рельеф местности и большая пестрота экологических условий. Распределение лесов разных формаций не имеет строго выраженной зависимости от их высотного положения. Интразональный тип растительности — луговые и остепнённые сообщества — образует «островные» включения в лесном поясе преимущественно на склонах южной экспозиции. Исходя из характера биологической связи между признаками можно сделать предположение, что связь может описываться более сложными — нелинейными — моделями. Анализ парной корреляции дает основание считать значимой связь между x_2 и x_4 (между проективным покрытием травостоя и химическим составом почвы), причем связь эта прямая, т. е. высокая задернованность почвы влияет на разнообразие почвенных условий. Значима также связь между x_3 и x_4 , но ее характер другой: более высокий показатель сомкнутости крон и меньшее содержание органики в лесных почвах наименее благоприятно сказываются на развитии растений. В таких условиях световые мезофиты замедляют онтогенетические темпы развития и формируют средние и низкие продуктивные признаки. Высокие значения коэффициентов корреляции между всеми показателями развития растений y_i и x_2 , x_4 свидетельствуют о прямой связи анализируемых характеристик с общим проективным покрытием и элементным составом. Построение нелинейной степенной модели для факторов, имеющих большую связь с результирующими показателями, привело к результатам, представленным в табл. 4.

Таблица 4

Характеристика степенных моделей зависимости габитуса растений от экологических факторов местообитания

Параметры взаимосвязи (x_i)	Уравнение регрессии	Индекс детерминации по уравнению (R^2)	Коэффициент аппроксимации
Высота побега	$y_1 = 3,66 \times x_2^{0,76} \cdot x_4^{0,14}$	0,81	43,21
Длина листьев	$y_2 = 77,66 \times x_2^{-0,77} \cdot x_4^{0,06}$	0,87	18,64
Ширина листьев	$y_3 = 431,22 \times x_2^{-1,32} \cdot x_4^{1,52}$	0,97	-13,18
Длина междоузлий	$y_4 = 11,33 \times x_2^{-0,29} \cdot x_4^{0,81}$	0,74	50,16
Длина соцветия	$y_5 = 0,006 \times x_2^{1,85} \cdot x_4^{0,31}$	0,97	-23,43
Диаметр стебля	$y_6 = 0,16 \times x_2^{-0,06} \cdot x_4^{0,92}$	0,86	-39,27

В данных моделях показатели степени представляют собой эластичности параметров растений по факторам x_2 — общего проективного покрытия и x_4 — содержания органического вещества в почве. Например, можно рассчитать, что при увеличении общего проективного покрытия на 1 % от среднего значения высота растения y_1 увеличивается на 0,76 % от своего среднего значения, а при увеличении содержания органики на 1 % эта высота станет больше лишь на 0,14 %, и т. д. Моделирование влияния экологических факторов на формирование габитуса световых мезофитов рода *Thalictrum* дает возможность прогнозировать поведение при изменении условий обитания в условиях экологического стресса. Таким образом, в ходе проведенного исследования установлено, что полученные модели зависимости габитуса от экологических факторов при изреживании древостоя достаточно точно воспроизводят результаты полевых наблюдений и биометрических замеров.

Итак, полученные результаты способствуют определению экологического потенциала территории и ее устойчивому развитию, представляют информационную основу для стратегического управления природными ресурсами. По итогам проведенных исследований влияния экологических факторов и азротехногенного загрязнения лесных экосистем в Южном Прибайкалье с использованием характеристик травянистых мезофитов получены следующие выводы:

1. Изменение структурно-функциональных параметров ценопопуляций *Thalictrum minus* при изменении экологических показателей биотопа имеет индикаторное значение. В неблагоприятных экологических условиях регистрируется снижение габитуса особей модельных видов до 15 % и изменение длительности отдельных онтогенетических состояний до 3 лет и продолжительности большого жизненного цикла до 15 лет. Особи среднего и низкого виталитета формируют регрессирующие популяции. Их динамика ведет к сокращению индикаторных видов в местностях с высокой антропогенной нагрузкой.

2. Биостатистическое исследование вариабельности вегетативных органов модельных видов, занимающих разные эколого-фитоценотические позиции, выявило такие различия: виды расположились в следующем порядке по числу значимых корреляционных связей: *Thalictrum baicalense* → *Thalictrum foetidum* →

Thalictrum contortum → *Thalictrum minus*. Установление наличия корреляционных связей между исследуемыми признаками позволило вскрыть закономерности наследуемости морфологических признаков и рекомендовать в качестве биоиндикатора вид *Thalictrum minus*.

Проведенное исследование влияния экологических факторов на формирование габитуса световых мезофитов рода *Thalictrum* обосновывает валидность использования статистических методов для прогнозирования изменения продукционных признаков. Анализ полученных моделей зависимости морфологических параметров от условий обитания позволил выявить морфологические признаки — биомаркеры и разработать методику прогнозирования ценоценологического поведения индикаторных видов растений при аэропромышленном загрязнении и других видах экологического стресса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлова Т. А. Влияние промышленных выбросов на леса Байкальской природной территории / Т. А. Михайлова // География и природные ресурсы. — 2003. — № 1. — С. 51–59.
2. Николаевский В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных систем методами фитоиндикации / В. С. Николаевский. — М. : Изд-во Моск. ун-та леса, 1998. — 192 с.
3. Trowbridge P. J. Trees in the urban landscape / P. J. Trowbridge, N. A. Bassuk. — Hoboken : Jon Wiley & Sons, 2014. — 209 p.
4. Алексеев А. С. Радиальный прирост деревьев и древостоев в условиях атмосферного загрязнения / А. С. Алексеев // Лесоведение. — 1993. — № 4. — С. 66–70.
5. Мазуркин П. М. Биоиндикация веточками и хвоинками деревьев ели / П. М. Мазуркин, А. О. Петренко. — Йошкар-Ола : Изд-во МарГТУ, 2011. — 265 с.
6. Хвоя сосны как тест-объект для оценки распространения органических поллютантов в региональном масштабе / А. Г. Горшков [и др.] // Доклады Академии наук. — 2006. — Т. 408, № 2. — С. 247–249.
7. Белых О. А. Ресурсы семейства Ranunculaceae в Байкальской Сибири и сопредельных территориях / О. А. Белых, Ч. Энхболд // Вестник ИрГСХА. — 2011. — № 46. — С. 41–45.
8. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р. А. Полуэктов [и др.]. — СПб. : Изд-во С.-Петербур. гос. ун-та, 2006. — 306 с.
9. Жукова Л. А. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии) / Л. А. Жукова, Л. Б. Заугольнова, О. В. Смирнова. — М. : Наука, 1984. — 181 с.
10. Моложников В. Н. Растительность Прибайкалья / В. Н. Моложников. — Saarbrücken Germany : LAP Lambert Academic Publ., 2014. — 612 с.
11. Жилиев Г. Г. Жизнеспособность популяций растений / Г. Г. Жилиев // Журнал общей биологии. — 2007. — Т. 68, № 1. — С. 74–77.
12. Белых О. А. Экологическая оценка состояния пригородных лесов г. Байкальска / О. А. Белых [и др.] // Известия Иркутской государственной экономической академии. — 2015. — Т. 25, № 5. — С. 913–920. — DOI: 10.17150/1993-3541.2015.25(5).913-920.
13. Ивантер Э. В. Элементарная биометрия / Э. В. Ивантер, А. А. Коросов. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2010. — 104 с.
14. Белых О. А. Биоморфология и интродукция василисника малого в Южной Сибири / О. А. Белых. — Иркутск : Изд-во Вост.-Сиб. гос. акад. образования, 2010. — 150 с.
15. Данилова А. Н. Эколого-биологическая характеристика популяций *Medicago falcata* L. на хребте Нарымский (Южный Алтай) / А. Н. Данилова, О. А. Ануфриева, С. А. Кубентаев // Бюллетень Главного ботанического сада. — 2016. — Вып. 202, № 3. — С. 37–44.
16. Ветрова В. П. Внутривидовая изменчивость количественных морфологических признаков генеративных органов *Pinus rumila* (Pinaceae) / В. П. Ветрова, Н. С. Ростова // Ботанический журнал. — 2012. — Т. 97, № 1. — С. 14–30.

REFERENCES

1. Mikhailova T. A. Influence of industrial emissions on the forests of Baikal natural area. *Geografiya i prirodnye resursy* = *Geography and Natural Resources*, 2003, no. 1, pp. 51–59. (In Russian).

2. Nikolaevskii V. S. *Ekologicheskaya otsenka zagryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnykh system metodami fitoindikatsii* [Ecological assessment of environmental pollution and state of terrain systems with the use of phytoindication techniques]. Moscow State Forest University Publ., 1998. 192 p.
3. Trowbridge P. J., Bassuk N. A. *Trees in the urban landscape*. Hoboken, Jon Wiley & Sons, 2014. 209 p.
4. Alekseev A. S. Radial increment of trees and forest stand in conditions of air pollution. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*, 1993, no. 4, pp. 66–70. (In Russian).
5. Mazurkin P. M., Petrenko A. O. *Bioindikatsiya vetochkami i khvoinkami derev' ev eli* [Bioindication with the use of spruce twigs and needles]. Yoshkar-Ola, Mari State Technical University Publ., 2011. 265 p.
6. Gorshkov A. G., Mikhailova T. A., Berezhnaya N. S., Vereshchagin A. L. Pine Needles as a Biomonitor for Estimation of Distribution of Organic Pollutants on Regional Scale. *Doklady Akademii nauk = Reports of the Academy of Sciences*, 2006, vol. 408, no. 2, pp. 247–249. (In Russian).
7. Belykh O. A., Enkhbold Ch. Resources of Ranunculaceae family in Baikal Siberia and in the adjacent areas. *Vestnik IrGSCHA*, 2011, no. 46, pp. 41–45. (In Russian).
8. Poluektov R. A., Smolyar E. I., Terleev V. V., Topazh A. G. *Modeli produktsionnogo protsessa sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Models of crop plants production process]. Saint Petersburg State University Publ., 2006. 306 p.
9. Zhukova L. A., Zaugolnova L. B., Smirnova O. V. *Tsenopopulyatsii rastenii (oчерki populyatsionnoi biologii)* [Cenosis populations of plants (essays on population biology)]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 181 p.
10. Molozhnikov V. N. *Rastitel'nost' Pribaikal'ya* [Vegetation of Baikal Region]. Saarbrucken Germany, LAP Lambert Academic Publ., 2014. 612 p.
11. Zhilyaev G. G. *Zhiznesposobnost' populyatsii rastenii* [Vitality of plants populations]. *Zhurnal obshchebiologii = General Biology Journal*, 2007, vol. 68, no. 1, pp. 74–77. (In Russian).
12. Belykh O. A., Mokryy A. V., Galemina M. A., Kanitskaya L. V., Sultanova E. T., Chuparina E. V. Ecological assessment of Baikalsk suburban forests. *Izvestiya Irkutskoi gosudarstvennoi ekonomicheskoi akademii = Izvestiya of Irkutsk State Economics Academy*, 2015, vol. 25, no. 5, pp. 913–920. DOI: 10.17150/1993-3541.2015.25(5).913-920. (In Russian).
13. Ivanter E. V., Korosov A. A. *Elementarnaya biometriya* [Biometry basics]. Petrozavodsk State University Publ., 2010. 104 p.
14. Belykh O. A. *Biomorfologiya i introduktsiya vasilisnika malogo v Yuzhnoi Sibiri* [Biomorphology and introduction of meadow rue in Southern Siberia]. Irkutsk State Pedagogical College Publ., 2010. 150 p.
15. Danilova A. N., Anufrieva O. A., Kubentaev S. A. Ecological-biological Characteristics of *Medicago falcata* L. Populations on the Ridge of Narymskiy (South Altai). *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada = Bulletin of the Central Botanical Garden*, 2016, iss. 202, no. 3, pp. 37–44. (In Russian).
16. Vetrova V. P., Rostova N. S. Intrapopulation variability of quantitative morphological characters of seed bearing organs in *Pinus pumila* (Pinaceae). *Botanicheskii Zhurnal = Botany Journal*, 2012, vol. 97, no. 1, pp. 14–30. (In Russian).

Информация об авторе

Белых Ольга Александровна — доктор биологических наук, профессор, кафедра торгового и таможенного дела, Байкальский государственный университет, 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, e-mail: BelykhOA@bgu.ru.

Author

Olga A. Belykh — D.Sc. in Biology, Professor, Department of Trade and Customs Regulation, Baikal State University, 11 Lenin St., 664003, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: BelykhOA@bgu.ru.

Для цитирования

Белых О. А. Биоиндикация состояния лесных экосистем Южного Прибайкалья с использованием характеристик травянистых мезофитов / О. А. Белых // Известия Байкальского государственного университета. — 2018. — Т. 28, № 3. — С. 362–369. — DOI: 10.17150/2500-2759.2018.28(3).362-369.

For Citation

Belykh O. A. Bioindication of the Forest Ecosystems State of the South Baikal Region with the Use of Herbaceous Mesophytes Characteristics. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2018, vol. 28, no. 3, pp. 362–369. DOI: 10.17150/2500-2759.2018.28(3).362-369. (In Russian).