

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ФГБУН «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ»  
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА  
КУЗБАССКИЙ БОТАНИЧЕСКИЙ САД

## **ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БОТАНИКИ ИНДУСТРИАЛЬНО РАЗВИТЫХ РЕГИОНОВ**

Сборник материалов докладов  
V Международной конференции

**Кемерово, 2–3 октября 2018 г.**

Кемерово 2018

**ББК 28.58**

**П78**

**УДК 581.5.9; 524.342. 527.7**

Редакционная коллегия:

*д.б.н. А.Н. Куприянов* (ответственный редактор),

*д.б.н. Ю.А. Манаков, д.б.н. С.А. Шереметова,*

*к.б.н. В.И. Уфимцев, к.б.н. О.О. Вронская*

**Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов:** Сборник материалов докладов V Международной конференции (2–3 октября 2018 г., Кемерово). – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2018. – 150 с.

**П78**

В сборнике опубликованы статьи по докладам, представленным на V Международную конференцию «Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов». Рассматриваются актуальные вопросы сохранения биологического разнообразия в регионах с развитой горнодобывающей промышленностью, интродукции растений в условиях антропогенно измененной среды, усиления роли адвентивных и инвазионных видов в природных экосистемах Сибири, влияния антропогенных факторов на биологические особенности растений.

Материалы представляют интерес для ученых, ботаников, экологов, практиков зеленого строительства и могут быть полезны для преподавателей вузов и студентов.

ISBN 978-5-902305-52-1

**ББК 28.58**

The editorial board:

*A. N. Kupriyanov* (responsible editor),

*Yu. A. Manakov, S. A. Sheremetova, V. I. Ufimtsev, O. O. Vronskaya*

**Problems of industrial botany in advanced industrial regions.** Proceedings of the V International conference (2–3 October, 2018, Kemerovo). – Kemerovo, 2018. – 150 p.

The collection contains articles on the reports presented at the V International conference «Problems of industrial botany in industrialized regions». The topical issues of biodiversity conservation in the regions with developed mining industry, plant introduction in the conditions of anthropogenically changed environment, strengthening the role of adventive and invasive species in the natural ecosystems of Siberia, the influence of anthropogenic factors on the biological characteristics of plants are considered.

The materials are of interest to scientists, botanists, environmentalists, green building practitioners and can be useful for University teachers and students.

ISBN 978-5-902305-52-1

© Авторы статей. Текст, 2018

© ФИЦ УУХ СО РАН, 2018

**<sup>1</sup>А.А. Зверев, <sup>2</sup>С.А. Шереметова, <sup>2</sup>Р.Т. Шереметов**

## **ШКАЛА ГЕМЕРОБОТОЛЕРАНТНОСТИ РАСТЕНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ АНАЛИЗА ФЛОРИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ В РАМКАХ БАСЕЙНОВОГО ПОДХОДА**

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
Томский государственный университет»,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36  
e-mail: ibiss@rambler.ru

<sup>2</sup>Кузбасский ботанический сад ФИЦ УУХ СО РАН,  
Россия, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10  
e-mail: ssheremetova@rambler.ru, rashit-sheremetov@rambler.ru

Представлены результаты апробации новой шкалы гемероботолерантности растений юга Сибири для оценки нарушенности территорий бассейнов притоков реки Томь. Показана перспективность применения индексов нарушенности в сравнительном анализе бассейновых флор с использованием методов многомерной статистики.

Бассейновый подход – эффективный метод проведения исследований по изучению биоразнообразия в бассейнах рек, позволяющий оценить значимость различных параметров бассейнов для задач, решаемых сравнительной флористикой. В качестве единицы исследования рационально использовать водосборы рек среднего и малого класса [Хортон, 1948]. Ранее показана целесообразность использования различных параметров для объяснения флористической дифференциации бассейновых флор и различий в их систематических показателях и пропорциях – в такой роли могут выступать климатические параметры (экстраполяционные и по данным непосредственных метеонаблюдений), морфометрические характеристики модельных бассейнов [Шереметова, Шереметов, 2015; Шереметова, 2016; Шереметов, Шереметова, 2017].

При недоступности данных прямых измерений основных экологических факторов или невозможности получить надежные усредненные значения их напряженности на определенный момент времени, используют метод фитоиндикационного анализа, основывающийся на опосредованной вероятностной оценке значений того или иного фактора по эталонным синэкологическим статусам растений, зарегистрированным во флористических списках, приуроченных к исследуемой территории. Наборы таких статусов традиционно называют экологическими шкалами, подразделяя их в зависимости от формата предоставляемой статусной информации на три основных типа: оптимумные, амплитудные (или медианные) и амплитудно-оптимумные шкалы [Зверев, 2009а]. Со времени разработки метода количественной фитоиндикации

(середина XX в.) опубликовано около 40 авторских систем экологических шкал, различающихся набором факторов, количеством различаемых на их градиенте ступеней и территориальным охватом. Использование растений в качестве индикаторов условий местообитаний вместо прямых измерений физических или химических параметров среды имеет ряд важных преимуществ [Zonneveld, 1983], как следствие, экологами разных стран выполнено немало успешных исследований с использованием таких средних фитоиндикационных статусов в роли суррогатных переменных среды [Diekmann, 2003].

Одним из важных факторов, влияющим на характеристики и динамику фиторазнообразия территорий, является уровень их общей хозяйственной освоенности и, как следствие, степень трансформированности. Этот комплексный показатель, не поддающийся прямой количественной оценке, отражает сочетанный эффект изменений естественного состояния экосистем в результате антропогенного влияния. Нарушенность, таким образом, противопоставляется естественности, однако для полноты картины причинный ряд надо дополнить катастрофическими природными явлениями, результат воздействия которых на фитобиоту может быть вполне сопоставим с влиянием человека.

Наиболее эффективный и надежный способ оценить уровень таких трансформаций – это использование характеристик растительного покрова в сочетании с данными об индивидуальной синэкологической толерантности растений к неблагоприятным изменениям абиотического и ценотического окружения. Такие фитоиндикационные шкалы для оценки нарушенности и родственного фактора – уровня урбанизации территорий – разрабатывали W. Kunick и S. Klotz, Н.Г. Ильминских, D. Frank и S. Klotz, М.М. Черосов и Б.Н. Пестряков [Зверев, 2009б, 2012]. На экотопиче-

ском уровне условную оценку нарушенности можно сделать по степени рекреационно-пастбищной дигрессии – такие шкалы опубликованы Л.Г. Раменским с соавторами, И.А. Цаценкиным с соавторами, В.П. Селдцом, Е.П. Прокопьевым, Е.И. Троевой с соавторами.

Шкалы отношения растений к нарушенности экотопов для юга Сибири ранее не разрабатывались. Мы предприняли попытку создания такой шкалы в рамках выполнения проекта по гранту РФФИ 16-04-01246 «Выявление закономерностей и современных тенденций синантропизации флоры Южной Сибири». В качестве референтных данных было использовано распределение 2521 сосудистых растений флоры северо-западной части Алтае-Саянской провинции по 4 классам антропоотолерантности [Эбель, 2011, с более поздними дополнениями и изменениями]: гемерофобный, гемеротолерантный, гемерофильный и синантропный. Определенные ошибки при экспертном определении степени толерантности видов неизбежны. Но такие неточности в значительной степени репарируются после обработки массового геоботанического материала. Именно поэтому важен объем пула модельных (донорских) описаний и его репрезентативность (равная пропорциональная представленность всех основных типов экотопов на уровне региона). В качестве основы такого массива была использована база данных геоботанических описаний из коллекции «Database of Siberian Vegetation (DSV)», зарегистрированной в международной метабазе фитоценозов «Global Index of Vegetation-Plot Databases» под индексом AS-RU-002 [Korolyuk, Zverev, 2012] и реализованной в интегрированной ботанической информационной системе IBIS [Зверев, 2007]. После проведения элиминирующего отбора для создания шкал было использовано 38225 описаний с общим списком 3035 видов сосудистых растений. Расчет оптимумов и границ амплитуд толерантности также произведен в системе IBIS по ранее предложенной нами методике [Зверев, Королук, 2011, с изменениями] с последующим переводом статусов в 9-балльный формат с неравными интервалами. Краткая характеристика шкалы: тип – амплитудно-оптимумный; число градаций – 9; число таксонов-индикаторов – 2747, из них с неполными (предварительными) статусами – 846; распределение оптимумов индикаторов по градациям шкалы (от 1 до 9, в процентах): 3,262, 24,185, 16,474, 10,346, 7,084, 9,621, 9,720, 7,545, 2,273; средняя амплитуда толерантности (в градациях) –  $3,904 \pm 0,041$  (здесь и далее

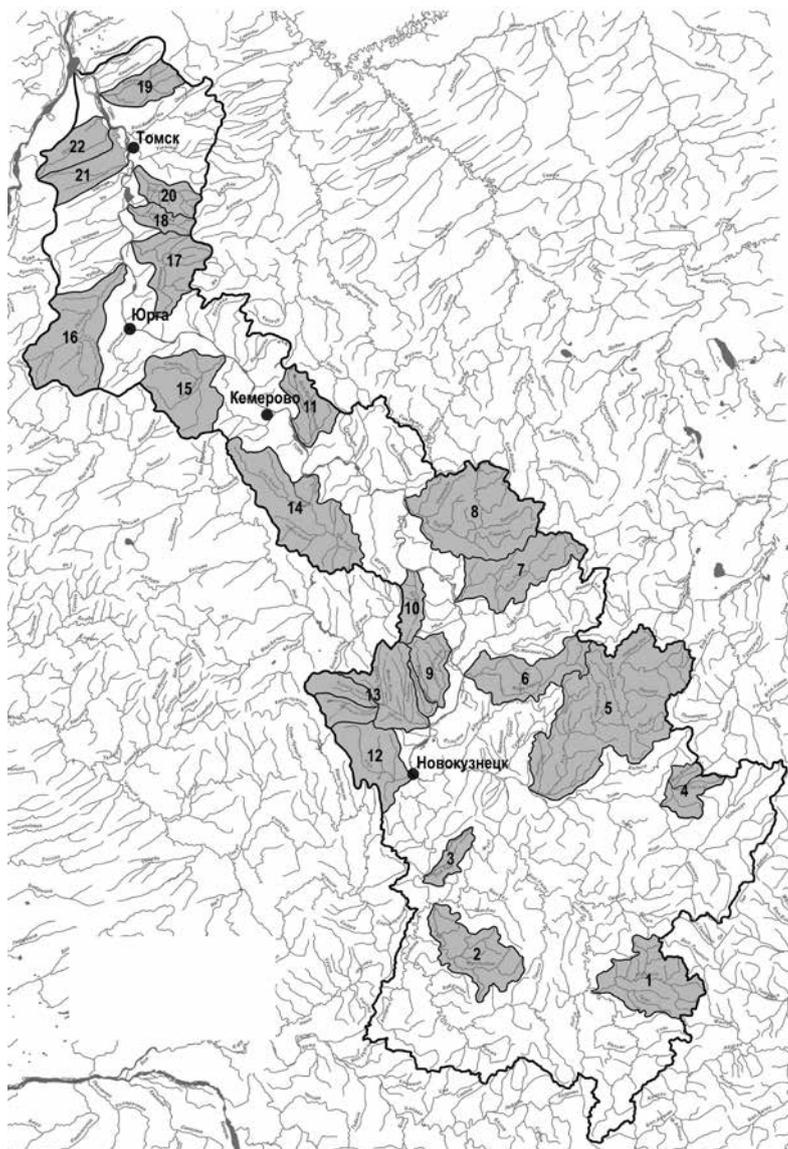


Рис. Модельные бассейны в районе исследования (порядковые номера пояснены в тексте)

средние арифметические значения приводятся с их стандартными ошибками).

Мы полагаем, что новая шкала гемеротолерантности может быть использована как для локальной количественной оценки нарушенности конкретных местообитаний по геоботаническим описаниям, так и для интегральной квантификации уровня трансформированности территорий по их флорам и оценки степени синантропизации самих флор. В настоящее время шкала готовится к публикации. Предварительный вариант этой шкалы мы использовали в настоящей работе для ее апробации, что позволит провести экспертную коррекцию перед обнародованием финального варианта.

Статистические методы, примененные в нашей работе: дескриптивный анализ (расчет выборочных статистик, тесты на нормальность распределения),

корреляционный анализ (линейная корреляция К. Пирсона, пермутационный тест Н. Мантеля), регрессионный анализ (парная и множественная линейная регрессия); кластерный анализ (иерархический агломеративный кластерный анализ по методу WMGMA); использованный компьютерный инструментарий: StatSoft Statistica v.10, PAST v.3.20, MS Excel 2010, IBIS v.7.2.

Материалом для настоящего исследования послужили данные о флористическом составе флор бассейнов притоков р.Томь (рис.) из диссертационного исследования С.А. Шереметовой [2016], введенные в базу данных в системе IBIS. Обозначения 22 модельных бассейновых флор, используемых далее: 01-Каб – Кабырза, 02-Мун – Мундыбаш, 03-Теш – Большой Теш, 04-Каз – Большой Казыр, 05-Уса – Уса, 06-ВТр – Верхняя Терсь, 07-НТр – Нижняя Терсь, 08-Тай – Тайдон, 09-Нар – Черновой Нарык, 10-Бун – Бунгарап, 11-Про – Большая Промышленная, 12-Аба – Аба, 13-Уск – Ускат, 14-Унь – Унья, 15-Стр – Стрелина, 16-Леб – Лебязья, 17-Сос – Соновка, 18-Туг – Тугояковка, 19-Сам – Самуська, 20-Бас – Басандайка, 21-Кис – Кисловка, 22-Пор – Порос. Первые 8 флор относятся к горной части бассейна Томи, остальные к равнинной. Таксономические списки были составлены отдельно для аборигенной и адвентивной фракций флор. Краткая характеристика объединенной флоры: число видов – 1321 (из них апофитов – 1204, адвентов – 117), родов – 498, семейств – 118; доля видов в 10 ведущих семействах – 56,472 %; 258 (19,097 %) видов присутствуют во всех 22 бассейнах; 10 ведущих семейств согласно сортировке по числу видов в интегральном спектре [Семкин и др., 2013]: Asteraceae, Poaceae, Superaceae, Rosaceae, Fabaceae, Ranunculaceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Polygonaceae, Scrophulariaceae; среднее число видов в одной бассейновой флоре –  $567,818 \pm 13,185$ , родов –  $309,864 \pm 3,825$ , семейств –  $89,364 \pm 0,932$ . В расчетах не учтены 240 видов (119 апофитов и 121 адвент), зарегистрированных во флоре реки Томь, но за пределами 22 модельных бассейнов.

Средняя представленность таксонов-индикаторов гемеробии в общих (апофиты + адвенты) бассейновых флорах составила  $93,741 \pm 0,374$  % (отдельно для апофитов –  $94,877 \pm 0,382$  %, для адвентов –  $78,127 \pm 1,611$  %), что позволяет говорить о высоком формальном соответствии шкалы для оценки трансформации растительного покрова в районе исследования массиву флористических списков. Коэффициенты интервального экологического консенсуса [Зверев, 2011], выражающие степень перекрытия амплитуд толерантности к нарушениям растений, входящих в один флористический список, достаточно высоки (минимальное значение для общих списков – 0,616, максимальное – 0,752, среднее –  $0,705 \pm 0,009$ ), однако относиться к этому показателю на уровне флор бассейнов надо с осторожностью, поскольку он должен

сильно зависеть от широты диапазона представленных в бассейне типов экотопов.

Основной целью на этапе апробации новой шкалы мы видим демонстрацию возможности использования индексов интегральной нарушенности территорий бассейновых флор в контексте традиционных задач и методов сравнительной флористики, выявление связи этих индексов с другими параметрами флор и экологическими факторами. Все расчеты были выполнены в аналитическом модуле системы IBIS. В качестве суррогатных экологических переменных выступили фитоиндикационные индексы по 10 экологическим факторам в системе Д.Н. Цыганова [1983], которые так же, как и индексы нарушенности, рассчитывались методом взвешенного усреднения оптимумных статусов всех таксонов-индикаторов в составе каждой из бассейновых флор. В качестве веса индикаторов выступала величина, обратная широте амплитуде толерантности, т.е. стенотопные индикаторы получали больший относительный вес при расчете средних фитоиндикационных индексов по сравнению с эвритопными. Полученные расчетные значения по шкале гемеробии и по 4 факторам шкалы Д.Н. Цыганова (вошедшие в финальное регрессионное уравнение) и показатели таксономического богатства бассейновых флор представлены в таблице.

Все вычисления были проведены как для фракции апофитов, так и по полным спискам бассейновых флор. Характер всех взаимосвязей и тренды отношений были одинаковыми, отличия большинства результирующих коэффициентов не превышали нескольких процентов. Для экономии места мы приводим более показательные результаты анализа только для одного из двух вариантов списка, распространяя все выводы и на второй вариант.

Очевидно, что меньшие величины индекса интегральной нарушенности бассейновых флор по новой шкале характерны горным бассейнам Кузнецкого Алатау: Усе, Казыру, Нижней и Верхней Терси. Бассейны этих рек находятся или в пределах территории государственного заповедника «Кузнецкий Алатау», или в буферной зоне заповедника. Кроме того, бассейны рек Кузнецкого Алатау имеют самый большой набор высот, что привносит свой вклад в ограничение факторов нарушения флор этих бассейнов. Аналогичные условия характерны и для бассейнов Горной Шории, особенно для Кабырзы и Мундыбаша, в верховьях которых также имеются участки, расположенные выше границы леса. Однако эти бассейны в большей степени освоены и соответственно они более нарушены.

В отношении флор бассейнов с самыми высокими показателями: по нашим исследованиям самой нарушенной является флора бассейна реки Аба, которая находится в пределах ряда городов Киселевск, Прокопьевск и Новокузнецк. Но объективно (согласно фитоиндикационным расчетам) она уступает флорам таких бассейнов, как, например, у реки Нарык.

Таблица

Показатели флористического разнообразия и фитоминдикационные индексы 22 бассейновых флор

Бассейн	NS <sub>0</sub>	NG <sub>0</sub>	NF <sub>0</sub>	Hm <sub>0</sub>	Tm <sub>0</sub>	Kп <sub>0</sub>	Cr <sub>0</sub>	Nt <sub>0</sub>	NS <sub>1</sub>	NG <sub>1</sub>	NF <sub>1</sub>	Hm <sub>1</sub>
01-Каб	647	326	94	3,2198	7,5266	9,5603	6,6692	5,8008	618	305	92	3,0779
02-Мун	652	331	99	3,4805	7,6213	9,4425	6,7921	5,8622	614	308	96	3,3194
03-Теш	549	299	90	3,8616	7,7224	9,5208	6,7677	6,0725	514	275	87	3,6805
04-Каз	562	300	83	2,8598	7,3113	9,5298	6,4714	5,6749	546	289	82	2,7748
05-Уса	655	340	95	2,7740	7,3193	9,5329	6,5172	5,6431	633	322	94	2,6620
06-ВТр	681	345	96	2,9805	7,4148	9,4628	6,6200	5,6983	648	321	94	2,8238
07-НТр	593	310	91	2,9464	7,3500	9,4783	6,4973	5,5757	577	299	91	2,8583
08-Тай	504	287	87	3,9740	7,7478	9,5143	6,7304	6,0633	478	269	85	3,8117
09-Нар	484	282	83	4,2061	7,8247	9,5202	6,7626	6,1238	454	259	81	4,0118
10-Бун	473	282	83	3,9850	7,7194	9,5335	6,6380	6,0047	450	263	81	3,8226
11-Про	538	305	89	4,1459	7,8868	9,6274	6,8040	6,0210	499	277	84	3,9419
12-Аба	579	309	85	4,1702	7,9679	9,6828	6,8521	5,9389	518	270	81	3,8931
13-Уск	630	325	89	3,8994	7,9419	9,7164	6,8177	5,9140	578	292	85	3,6786
14-Унь	644	331	92	4,0667	7,9521	9,5459	6,9403	6,0472	577	294	87	3,7952
15-Стр	513	295	85	4,1842	7,8778	9,5343	6,7831	5,9830	471	267	82	3,9515
17-Леб	519	295	90	4,0991	7,8551	9,5925	6,7479	6,0040	486	272	87	3,8965
17-Сос	503	293	86	4,1356	7,8063	9,5764	6,7153	6,1117	465	269	83	3,9124
18-Туг	519	303	88	4,1077	7,7406	9,4451	6,7870	6,0203	481	275	86	3,8893
19-Сам	526	309	90	3,9631	7,6503	9,4339	6,6843	5,8518	487	284	88	3,7395
20-Бас	594	318	87	3,4920	7,5863	9,5116	6,6449	5,5924	578	306	86	3,4221
21-Кис	551	315	91	3,5345	7,5804	9,4659	6,6604	5,6154	527	299	90	3,4100
22-Пор	576	317	93	3,7315	7,6586	9,4305	6,7196	5,8483	536	293	89	3,5255

Примечания: NS – число видов, NG – число родов, NF – число семейств; Hm – интегральный индекс нарушенности (9 градаций в шкале);

Tm – термоклиматический индекс (17 градаций), Kп – индекс континентальности климата (15 градаций), Cr – индекс суровости зимнего периода (15 градаций),

Nt – индекс богатства почв азотом (11 градаций); подстрочный индекс 0 – полные списки (апофиты + адвенты), 1 – списки апофитов; полные названия бассейнов приведены в тексте

Это можно объяснить тем, что в этом бассейне развита горнодобывающая промышленность и расположены крупнейшие разрезы Кузбасса. Некоторые притоки Абы (например, Шарап, Шарап 2-й, Карагайла) имеют относительно сохранившиеся степные и остепненные луговые участки, что вносит вклад в видовое разнообразие бассейнов, а в коренных сообществах бассейна Нарыка когда-то преобладали черневые леса.

Бассейны остальных рек с более высокими индексами также относительно плотно населены. Так, бассейн реки Стрелина (северная часть Кузнецкой котловины недалеко от г. Кемерово) не так густо заселен, но интенсивно используется в сельском хозяйстве региона. Хотя столь высокое значение для Стрелиной вызывает некоторое удивление.

Проверка взаимосвязи средних индексов нарушенности с показателями отношения некоторых семейств по числу видов (для общих списков) выявила ожидаемо сильные положительные и статистически значимые связи: например, коэффициент корреляции с отношением *Asteraceae/Syringaceae* (изменяется по бассейнам в пределах  $1,340 \div 5,176$ ) составил  $r = 0,7162$ ; *Roaceae/Salicaceae* ( $2,722 \div 6,700$ ) –  $r = 0,7128$ . Виды в парах этих семейств различаются по экологии, толерантности к нарушениям, при этом семейства входят в головную часть интегрального семейственно-видового спектра флор модельных бассейнов, занимая (в порядке перечисления) 1, 3, 2 и 13-е места в интегральном семейственно-видовом спектре. Таким образом, количественные отношения этих семейств сами могут служить показателями степени синантропизации флор для района исследования.

Перечислим некоторые другие параметры флор и бассейнов, с которыми расчетный индекс нарушенности (для полных списков) показал статистически значимые ( $p < 0,05$ ) и сильные ( $|r| > 0,7$ ) корреляционные связи: положительные с долей цветковых растений во флоре; отрицательные со средней высотой бассейна над ур. м., с перепадом высот в бассейне, с долей сосудистых споровых растений во флоре. Подпороговая отрицательная связь уровня нарушенности была выявлена на родо-видовом уровне с индексами оригинальности флоры Л.И. Малышева [2000] для Азиатской России и Сибири.

Интересными оказались результаты парной регрессии параметров альфа-разнообразия бассейновых флор (апофитная фракция) на трех основных уровнях – видовом, родовом и семейственном от индекса нарушенности (обозначения даны в примечании к таблице), при этом более выражены были эти зависимости именно для апофитной фракции флоры:

$$NS_1 = 929,661 - 111,91 \times Hm_1 (R = -0,7977, R^2 = 0,6364)$$

$$NG_1 = 411,659 - 35,283 \times Hm_1 (R = -0,8292, R^2 = 0,6875)$$

$$NF_1 = 110,840 - 6,771 \times Hm_1 (R = -0,6549, R^2 = 0,4290)$$

Все три регрессионных коэффициента отрицательны (более высоким индексам нарушенности соответствуют меньшие числа таксонов во флорах) и статистически значимы на уровне 0,001, при этом зависимость показателей флористического богатства от уровня нарушенности снижается в ряду род – вид – семейство. Проведение такого же анализа для полных списков выявило аналогичный характер зависимости с несколько меньшими коэффициентами корреляции, которые уменьшались в ряду вид – род – семейство. Относительное снижение влияния индекса нарушенности на число родов в общих списках объясняется включением в анализ адвентивной фракции, для которой среднее число видов в роде лишь немногим превышает единицу ( $1,075 \pm 0,011$ ) против гораздо большего аналогичного значения в апофитной фракции ( $1,856 \pm 0,023$ ), т.е. многие из адвентивных видов одновременно обогащали общую флору бассейна и новым родом.

Мы провели проверку прогностической ценности вышеприведенных уравнений на доступном нам флористическом материале, наиболее сопоставимом с географических позиций: в качестве такого массива выступили 10 локальных флор (ЛФ) юго-востока Томской области и 2 референтных южно-таежных ЛФ из Кузнецкого Алатау и Прителецкого Алтая из диссертационного исследования А.И. Пяка [1992]. Так же, как в случае использованных нами флор модельных бассейнов, в ЛФ А.И. Пяка регистрировались только сосудистые растения. Несмотря на разные принципы выявления бассейновых и локальных флор, отклонения предсказанных по регрессионным уравнениям в зависимости от индекса нарушенности значений флористического богатства ЛФ от фактических значений составили для видов  $26,039 \pm 3,643$  %, для родов  $13,527 \pm 32,501$  %, для семейств  $7,509 \pm 1,446$  %. Для двух ЛФ (р. Басандайка и р. Кисловка), которые были выявлены в устьях двух модельных бассейнов, отклонения расчетных значений были гораздо меньше, соответственно и в том же порядке: 7,640, 6,936, 1,816; 12,664, 2,093, 0,825 %, при этом сами индексы нарушенности для бассейновой и локальной флор Басандайки показали очень близкие значения – 3,422 и 3,438, для Кисловки – и 3,410 и 3,334.

Для выявления влияния на индекс нарушенности других экологических факторов (по полным спискам) мы провели множественный регрессионный анализ (Forward stepwise) с 10 фитоиндикационными индексами по шкалам Д.И. Цыганова (табл.). В финальное уравнение включены 4 фактора:

$$Hm_1 = 9,947 + 3,429 \times TM_0 - 2,176 \times KN_0 - 2,137 \times CR_0 + 0,421 \times NT_0$$

Это уравнение объясняет основную часть дисперсии индекса нарушенности по бассейнам (множественный коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9799$ ) и

может быть проинтерпретировано так: в наибольшей степени интегральная нарушенность зависит от климатических параметров (положительно – от теплообеспеченности, отрицательно – от континентальности и суровости зимнего периода) и положительно от богатства почв азотом. При этом с другими факторами, которые не вошли в уравнение из-за высокой мультиколлинеарности, индекс нарушенности также показывает объяснимые сильные положительные парные корреляции: с кислотностью, соевым режимом, переменностью увлажнения и освещенностью экотопов, а вот с уровнем увлажнения выявлена лишь слабая отрицательная статистически незначимая связь ( $r = -0,303$ ,  $p = 0,170$ ).

Мы также провели кластерный анализ (дендрограммы сходства не приводятся из-за недостатка места), для чего были рассчитаны 4 матрицы подобия бассейновых флор:

- 1) матрица флористического сходства по бинарному варианту индекса Чекановского-Сьеренсена;
- 2) матрица экологических расстояний по 4 факторам (евклидово расстояние по фитоиндикационным индексам  $Tm_0$ ;  $Kn_0$ ;  $Cr_0$ ;  $Nt_0$  и );
- 3) «чистая» матрица разностей по индексу нарушенности  $Hm_0$ ;
- 4) матрица экологических расстояний по 4 факторам, дополненная фактором нарушенности.

Все четыре дендрограммы имели отличия в топологии, поскольку при построении матриц подобия учитывались различные критерии и использовались различные (прямые в первом случае и опосредованные во всех остальных) параметры флор. Тест Мантеля с использованием 9999 пермутаций показал статистически значимые ( $p < 0,0001$ ) коэффициенты корреляции между всеми матрицами, но при этом «чистая» матрица по нарушенности была ближе ( $r = 0,730$ ) к матрице по флористическим спискам, чем к матрице по 4 экологическим факторам ( $r = 0,697$ ). Первые же две имели более высокое сходство ( $r = 0,761$ ), которое несколько повышалось ( $r = 0,772$ ) при включении нарушенности в число учетных факторов. Это показывает перспективность использования индексов нарушенности в качестве уточняющего параметра при кластерном анализе флористических данных.

Резюмируя результаты этого пилотного исследования, можно утверждать, что они показывают хороший потенциал использования новой шкалы гемероботолерантности растений юга Сибири при анализе флор крупных территориальных выделов. Рассчитанные значения индекса нарушенности в целом соответствуют нашим представлениям об уровне хозяйственной освоенности региона. Так, по вполне объяснимым причинам выявлены существенные различия между горными и равнинными бассейнами. Кроме того, отдельные различия как между горными, так и между равнинными бассейнами проявили некоторые пока

необъяснимые особенности, которые требуют дополнительных исследований.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственного задания «Оценка и охрана флористического разнообразия под влиянием антропогенных и техногенных факторов «*in situ*» и «*ex situ*» № 0352–2016–0002»; № госрегистрации АААА–А17–117041410053–1.

#### ЛИТЕРАТУРА

Зверев А.А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова: Учебное пособие. – Томск: ТМЛ-пресс, 2007. 304 с.

Зверев А.А. Фитоиндикационный анализ: компьютерный подход // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Материалы VIII Междунар. научно-практ. конф. – Барнаул: РПИК «АТИКА», 2009а. С. 344–347.

Зверев А.А. Использование шкал гемероботолерантности и урбанизета для оценки антропогенной трансформации флоры и растительности // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: Материалы II Междунар. конф. – Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2009б. С. 52–59.

Зверев А.А. Использование индексов согласия при экологическом анализе растительности // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока: материалы V Всерос. конф. Т. 2. – Красноярск, 2011. С. 311–318.

Зверев А.А. Прямая и опосредованная оценка нарушенности местообитаний с помощью фитоиндикационных шкал // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: Материалы докладов III Междунар. конф. – Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2012. С. 87–92.

Зверев А.А., Королюк А.Ю. Экологические шкалы растений Сибири: методика коррекции с использованием системы IBIS // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы: Материалы Всерос. научн. конф. с междунар. участием. – СПб., 2011. Т. 2. С. 357–359.

Малышев Л.И. Оценка оригинальности флоры по таксономической структуре // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. Вып. 6. – Кемерово, 2000б. С. 3–10.

Пяк А.И. Флора юго-востока Томской области: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Томск, 1992. 16 с.

Семкин Б.И., Горшков М.В., Варченко Л.И. О схемно-целевом подходе к проблеме сравнительного анализа таксономических спектров // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Сб. науч. статей по материалам XII Междунар. научно-практ. конф. – Барнаул: ИП Колмогоров И.А., 2013. С. 167–174.

Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов: – М.: Изд-во иностр. лит., 1948. – 159 с.

Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. – М.: Наука, 1983. 196 с.

*Шереметова С.А.* Флора бассейна реки Томь: состав, структура, трансформация, пространственная организация: Дис. ... докт. биол. наук. – Томск, 2016. – 776 с.

*Шереметова С.А., Шереметов Р.Т.* Основные климатические параметры зимнего сезона и особенности биологического спектра флоры сосудистых растений бассейна реки Томи // Сибирский экологический журн. 2015. № 1. С. 3–12.

*Шереметова С.А., Шереметов Р.Т.* Влияние гидро-термических условий бассейна реки Томь на экологическую структуру флоры // Сибирский экологический журн. 2017. № 2. С. 136–149.

*Эбель А.Л.* Флора северо-западной части Алтае-Саянской провинции: состав, структура, происхождение, антропогенная трансформация. Дис. ... докт. биол. наук. – Томск, 2011. – 758 с.

*Diekmann M.* Species indicator values as an important tool in applied plant ecology – a review // Basic and Applied Ecology. 2003. Vol. 4, No. 6. – P. 493–506.

*Korolyuk A.Yu., Zverev A.A.* Database of Siberian Vegetation (DSV) // Vegetation databases for the 21st century / J. Dengler, J. Oldeland, F. Jansen et al. (eds.). Biodiversity & Ecology. 2012. Vol. 4. P. 312.

*Zonneveld I.S.* Principles of bio-indication // Environmental Monitoring and Assessment. 1983. Vol. 3, No. 3–4. – P. 207–217.

**Zverev A.A., Sheremetova S.A., Sheremetov R.T. PLANT INDICATOR VALUES OF TOLERABILITY FOR HEMEROBY AS AN ANALYTICAL TOOL FOR FLORISTIC DATA USING THE BASIN APPROACH**

The results of approbation of new plant indicator values of tolerability for hemeroby in the south of Siberia for assessing the disturbance of basin areas of tributaries of the Tom River are presented. The perspectives of the use of indices of hemeroby in a comparative analysis of basin floras using methods of multivariate statistics are shown.